

# 売買コストを考慮した市場急変に対応する日本株式運用モデル

## Operational model considering transaction costs to correspond to sudden changes in Japanese stock markets

曹治平<sup>1\*</sup> 古幡征史<sup>2</sup> 水田孝信<sup>1</sup>

Jihei So<sup>1</sup>, Masabumi Furuhashi<sup>2</sup>, Takanobu Mizuta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> スパークス・アセット・マネジメント株式会社

<sup>1</sup> SPARX Asset Management CO., Ltd.

<sup>2</sup> 南カリフォルニア大学コンピューターサイエンス学部

<sup>2</sup> Computer Science Department University of Southern California

**Abstract:** In this study, we propose a new paired evaluators method with consideration of turn over cost for sudden unexpected changes in financial markets. This consideration is necessary to evaluate the usability of forecasting models in realistic portfolio management. We conduct empirical analysis using Japanese stock market data from Jan.2001 to Sep.2010 to test how our proposing method switches the long term portfolio and short term portfolio in efficient ways. The results of the empirical analysis show that our method achieves higher return and reduces risks compared to the cases of fixed portfolios, either long-term portfolio or short-term portfolio.

## 1. はじめに

2007年のサブプライムショック、2008年のリーマンショック等に代表された市場環境が急変するイベントにおいて、それまで効果を発揮してきた投資手法が急に効かなくなる事態が発生した。

(Khan&Lo (2007) [8]、水田・小林[15]等)個人投資家ももちろんだが、多くの場合投資手法が一貫的である機関投資家はそれ以上に大きな打撃を受けた。本研究では一貫的な投資手法を維持しつつ、前述の市場環境が急変するときのみ別の手法に切り替える方法を提案する。

機関投資家とは、年金や保険、投資信託等多数の人からお金を集めて、投資する投資家を指す。機関投資家の投資対象は債券、為替等があるが、株式への投資も多く行っている。個人と比較して、比較的に大きな金額を投資するため、市場に与える影響も大きい場合がある。そのため、売買回転率を抑えて、数百銘柄に分散投資を行うことが必要となってくる。売買コストを抑える工夫は機関投資家が行う必要がある。(例えば、杉原 (2010) [12]等が詳しい)

分散投資にはいろいろな手法があるが、一つとして、各銘柄固有のファクターと呼ばれる属性値を用いて、機械的に数百銘柄へ投資するという手法が挙げられる。このような手法を用いたファンドをクオンツファンドと呼ぶことがある。クオンツ取引に関しては、杉原、Kestner (2003) [7]、Tortoriello (2008) [11]、Narang (2009) [9]、Brown (2010) [1]、Fabozzi, Focardi, and Kolm (2010) [4]等の研究が挙げられる。

ファクターを用いる投資手法は Sharp (1964) [10]、Fama&French (1992) [6]等の研究が有名である。Sharp はベータファクターを見つけたが、Fama&French はベータファクターに加えて、サイズ、バリューとする3ファクターモデルのほかに、Carhart (1997) [2] はさらにモメンタムファクターを加えた4ファクターモデルを見つけた。これ以外にもファクターは多数定義可能である。(大庭 (2008) [12]が詳しい)

しかしながら、常に有効であるファクターは存在しない。というのもののファクターに投資すべきかは時期によってかなり異なる。それに対応するために、Sorensen et al. (2004) [3]の研究は複数のファクターを最も効率的に合成できる手法 IC 最大化法を発表している。具体的には、各ファクターを組み合わせで作った合成のファクターの IC が最大となるように、各ファクターのウェイトを決めるという手法である。ここでは、IC とは Information Coefficient の略で、銘柄のリターンとファクター値の相関を指

\* 連絡先: スパークス・アセット・マネジメント株式会社

〒141-0032 東京都品川区大崎 1-11-2

ゲートシティ大崎イーストタワー16階

E-mail: Jihei.So[at]sparxgroup.com

している。Sorensen et al.の手法は複数のファクターを組み合わせ、回転率が大きくならないという点では実務に近い。また、過去のデータを分析し、未来を予想することで、有効なファクターを見つけることができた。

しかしながら、サブプライムショックの頃から市場環境が急変した。([8]、[15]等) Sorensenの方法ではこの市場急変に対応できなかった。そこで、古幡ら(2010)[5][14]は市場急変時に、複数のポートフォリオをいかに切り替えて対応するかという研究を発表した。古幡らの研究はFama&Frenchのファクターモデルを米国の証券に当てはめて、長期的に有効なファクターが市場の急変時において、有効でなくなった場合に、短期的に他のファクターに切り替える手法Paired Evaluators Method (PEM)を研究している。実際、米国では長期的にモメンタムファクターが有効であったが、リーマンショック等が発生した2008年後半からはかなり損失を発生した。古幡らの手法を用いることで、その急変に対応することができた。しかしながら、古幡らの研究は回転率を考慮しておらず、ファクター変換の際は全回転となっているため、実務的に投資できるとは言いがたい。

本研究は、Sorensen et al.の方法と古幡らの方法を組み合わせ、売買回転率をおさえつつ、市場環境急変時にも対応した手法を提案し、日本株でどのような成果を得られるかを検証する。以下2節では、Sorensen et al.の方法によって、ポートフォリオを構築し、古幡らの方法を適応させ、回転率の概念を導入する等本研究が提案する手法を述べる。3節では、提案手法によって得られた結果について、通期の概要および特徴的な時期における分析結果について述べる。4節では本研究全体をまとめた上で、次の研究に関する展望を述べる。

## 2. 提案手法

本研究は、Sorensen et al.のIC最大化法を用いて、短期、長期の二種類のファクターを作成し、回転率の概念を導入する。また、回転率導入後の合成ファクターを古幡の方法を用いて、市場の急変に対応できるモデルを構築する。つまり、平常時には回転率の低いモデルを用い、市場急変時のみ大きくポートフォリオを入れ替える手法である。

### 2.1 合成 IC 最大化法によるポートフォリオ構築

本節では、Sorensen et al.の合成 IC 最大化法を用い

て、複数のファクターを組み合わせ、ポートフォリオを構築する手法を説明する。

Sorensen et al.より、合成 IC 最大化法によるファクター合成は、具体的には、(1)式の最大化により合成時のウェイトを求めることである。

$$\bar{U} = \frac{w^t \hat{U}}{(w^t \rho w)^{1/2}} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、合成 IC を $\bar{U}$ 、合成に用いる各ファクターのウェイトをベクトル  $w$ 、各ファクター間の相関係数行列を  $\rho$ 、予想 IC をベクトル  $\hat{U}$  とする。

本研究は、日本株の月次株価データを上記の式に導入し、最大化問題を解くことで、合成 IC が最大となるようなウェイトを決める。その際に使用するファクターは、前期実績 PBR、今期予想 PER、今期予想配当利回り、今期予想 ROE の 4 ファクターとする。

$$\text{前期実績PBR} = \frac{\text{時価総額}}{\text{前期純資産}}$$

$$\text{今期予想PER} = \frac{\text{時価総額}}{\text{今期予想純利益}}$$

$$\text{今期予想配当利回り} = \frac{\text{今期予想配当総額}}{\text{時価総額}}$$

$$\text{今期予想ROE} = \frac{\text{今期予想純利益}}{\text{今期予想純資産}}$$

上記(1)式に入れる予想 IC は、過去月 IC の単純平均とする。前月の IC を予想 IC として、ウェイトを決定する場合、作成された合成ファクターは、短期ファクターと呼ぶ。また、過去6ヶ月の平均 IC を予想 IC として作成された合成ファクターは、長期ファクターと呼ぶ。長期ファクターは前月の IC のみで決まるわけではないため、短期と比較して、ウェイトの変化が小さい。

$$\hat{U}_t^{L,i} = \frac{\sum_{t'=t-6}^{t-1} u_t^{i'}}{6} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\hat{U}_t^{S,i} = u_{t-1}^i \dots \dots \dots (2.2)$$

ここで、 $t$  時点におけるファクター  $i$  の長期予想 IC を  $\hat{U}_t^{L,i}$ 、短期予想 IC を  $\hat{U}_t^{S,i}$ 、 $t$  時点におけるファクター  $i$  の IC を  $u_t^i$  とする。

また、ウェイト計算の過程において、回転率の概念を導入する。ウェイトの変化を回転率とみなし、またファクター間の相関を考慮し、高い相関をもつファクター同士の入れ替えは回転率が低いものとす

る。この方法では、長期ファクターの回転率は短期ファクターと比較して、多くの場合において、低くなっている。回転率の詳細は以下 2.3 節にて詳しく述べるとする。

$$R_p^L = \sum_i w_i^L R_f^i \dots\dots\dots (3.1)$$

$$R_p^S = \sum_i w_i^S R_f^i \dots\dots\dots (3.2)$$

長期ポートフォリオリターンを  $R_p^L$ 、短期ポートフォリオリターンを  $R_p^S$ 、ファクター*i*のファクターリターンを  $R_f^i$ 、長期合成ファクターにおけるファクター*i*のウェイトを  $w_i^L$ 、同様に短期合成ファクターにおけるファクター*i*のウェイトを  $w_i^S$  とする。

計算で得られたウェイトにしたがって、翌月のファクターリターンを用いて、月次リバランスのポートフォリオを長期ポートフォリオ、短期ポートフォリオの二つ作成する。

$$R_f^k = \frac{\sum_i R_s^i}{k} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$R_f^j = \frac{\sum_i R_s^i}{j} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$R_f = R_f^k - R_f^j$$

ここでは、*k* はファクター値が上位 1/5 の銘柄で、*j* はファクター値が下位 1/5 の銘柄を指し、 $R_s^i$  が銘柄 *i* のリターンを指す。

ファクターリターンは上記(4.1)(4.2)式のように、ユニバースに含まれる全銘柄をファクター値の大きい順に 5 つのグループに分け、第一グループの銘柄をロング、第五グループの銘柄をショートする五分位スプレッドリターンとする。

次節 2.2 では、本節で構築された長期、短期の二つのポートフォリオがクラッシュの時期を乗り越えられる切り替え方法を説明する。

## 2.2 市場急変時の切替え手法

前述のように、機関投資家は基本的には売買回転率が低く、売買手数料の低い長期学習の手法を好む。

本節では、古幡らの方法を参考に、長期学習を基本とし、市場急変時のみ短期学習に切り替え、対応する方法を説明する。

古幡らの方法は、Fama&French の 4 ファクターを利用して、長期学習、短期学習の 2 種類のポートフォリオを準備し、安定性がある長期学習を基本的に採択し、長期学習のパフォーマンスが著しく悪化したときのみ短期学習に切り替えるという仕組みとなっている。

本研究は、2.1 節で得られた長期ファクター、短期ファクターを用いて、長期、短期切り替えの閾値は以下(5)式のように求められる。

$$\begin{aligned} & \text{if } R_p^{L,t-1} < R_p^{S,t-1} \\ & \text{then } Q_{R_p^{L,t-2} \sim 10}^t = Q_{R_p^{L,t-2} \sim 10}^{t-1} * 0.995 - 1 \\ & \text{elseif } R_p^{L,t-1} > R_p^{S,t-1} \\ & \text{then } Q_{R_p^{L,t-2} \sim 10}^t = Q_{R_p^{L,t-2} \sim 10}^{t-1} * 0.995 + 1 \\ & \text{elseif } R_p^{L,t-1} = R_p^{S,t-1} \\ & \text{then } Q_{R_p^{L,t-2} \sim 10}^t = Q_{R_p^{L,t-2} \sim 10}^{t-1} * 0.995 \\ & \text{if } Q_{d-1}^t < 0 \text{ and } Q_{d+1}^t > 0 \\ & \text{then } \theta_t = Q_d^t \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

ここで、 $Q_{R_p^{L,t-2} \sim 10}^t$  は *t* 時点における  $R_p^{L,t-1}$  以上 10%

以下のダミー変数を表し、 $\theta_t$  は *t* 時点の閾値を表す。

上記の(5)式により求めた閾値  $\theta$  および前月の長期学習ファクターのリターン  $R_p^{L,t-1}$  を用いて、

$$\begin{aligned} & \text{if } R_p^{L,t-1} < \theta_t \\ & \text{then } R_p = R_p^{S,t-1} \\ & \text{elseif } R_p^{L,t-1} \geq \theta_t \\ & \text{then } R_p = R_p^{L,t-1} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

また、(6)式の長期、短期の切り替えにおいて、回転率の概念を導入する。長期学習ファクターと短期学習ファクターの比較に際して、予想される来月の回転率を考慮した売買手数料をそれぞれのリターンより引いたもので比較を行う。

$$R_p^{L,t} = R_p^{L,t} - \text{Turn}^{L,t+1} \dots\dots\dots (7.1)$$

$$R_p^{S,t} = R_p^{S,t} - \text{Turn}^{S,t+1} \dots\dots\dots (7.2)$$

ここでは、 $Turn^{L,t+1}$  は t+1 時点の長期ポートフォリオの売買手数料、 $Turn^{S,t+1}$  は t+1 時点の短期ポートフォリオの売買手数料としている。

回転率については、以下 2.3 節にて詳しく述べるとする。

### 2.3 回転率の考え方

本研究が先行研究との最も大きな違いは回転率を考慮したところである。本節では、回転率の計算方法を述べる。前述のように、回転率は合成ファクターにおける各ファクターのウェイトの変化としている。

ここでは、ファクター間の相関を考慮し、高い相関のファクター間の入れ替えは回転率を低くしている。具体的には、次の式(8)で表されている。

$$\begin{aligned} & \text{if } \rho_{i,j} > 0 \\ & \text{then } P_{i,j} = \min(\Delta w_i, \Delta w_j) * (1 - \rho_{i,j}) \\ & \text{elseif } \rho_{i,j} \leq 0 \\ & \text{then } P_{i,j} = \min(\Delta w_i, \Delta w_j) * 1 \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

ファクター i-j 間の回転率は  $P_{i,j}$  とする。

また、複数のリバランスパターンが存在する場合において、高い相関のファクターからリバランスを行うものとする。

なお、今回のポートフォリオは長期、短期ともに Long-Short ポートフォリオであるため、実質的な回

転率は、上記(8)で求めた P を 4 倍することで求まる。売買手数料は従って、

$$Turn^t = \sum_{i,j} P_{i,j} * 4 * c \dots \dots \dots (9)$$

と表記される。c は売買手数料率で、今回は 0.3% としている。

売買手数料は、古幡らの方法に適応する際に考慮される。また、結果の比較は売買手数料控除後のリターンを用いて行う。

### 3. 日本株でのバックテスト

本研究は長期ポートフォリオが大きく損失を出しているときに、短期ポートフォリオに乗り換える方法を提案している。したがって、提案手法は元の長期、短期ポートフォリオよりも総合的に高いリターンおよび低いリスクを実現することを目的としている。本節では、日本株への応用に際して、用いるデータ等枠組みを説明し、通期（2001年1月～2010年9月）において長期ポートフォリオ、短期ポートフォリオ、提案手法の三つのリターン、リスク等の結果を示す。また長期ポートフォリオが著しく短期ポートフォリオに負けている時期に提案手法はどのような選択を行ったかを述べる。

#### 3.1 分析の枠組み

本研究では東京証券取引所一部上場銘柄を分析対象のユニバースとする。データは東洋経済新報社が

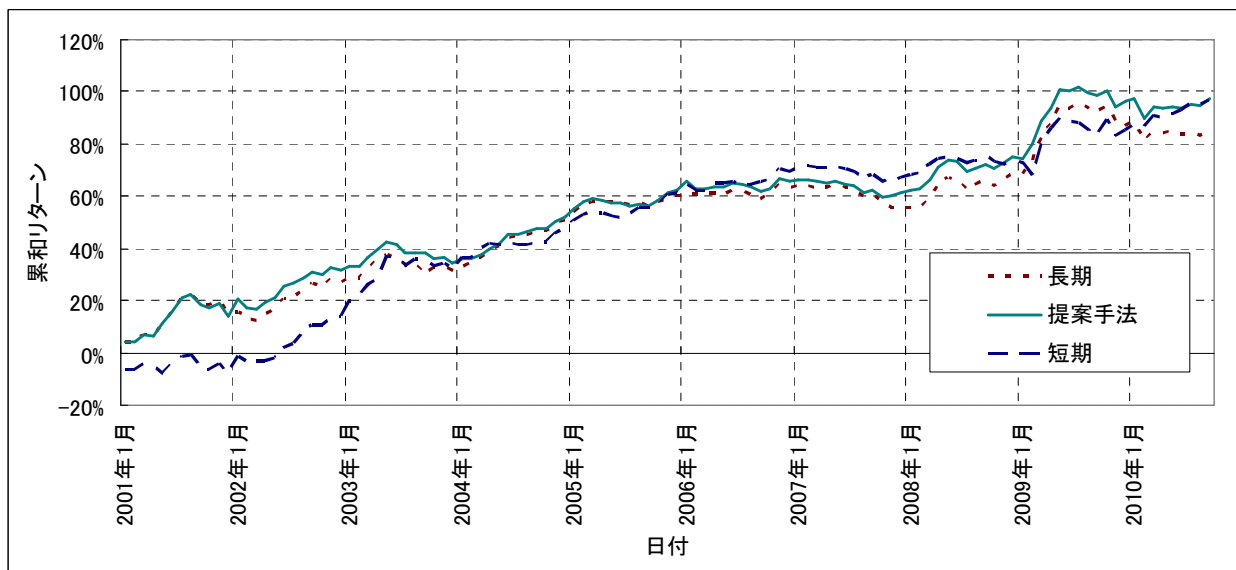


図 1 2001年1月～2010年10月における長期ポートフォリオ、短期ポートフォリオ、提案手法の累和リターンを比較している。提案手法は大きく負けている時期が少なく、また累和リターンも常に3手法の中で最も優れている。

提供するデータを利用する。用いるデータの期間は2001年1月～2010年9月とする。また、株価データと財務データから作成される投資有効性を示すファクターデータは、極端の値による数値の偏りを防ぐため、基準化を行う。基準化は、計算されたすべての銘柄のファクター値を平均0、標準偏差1となるように基準化したうえで、ファクター値が3を超える銘柄に関しては、ファクター値を3と再定義する。ファクター値が3を越える銘柄が多い場合、平均が0、標準偏差が1から大きくずれる可能性があるため、この過程をもう一度行う。本研究では、このように基準化されたファクター値を用いる。

### 3.2 通期の分析

本節では第2節の手法を用いて得られたリターン、リスクおよび回転率の結果を説明する。

第2節の方法を用いて得られた結果を累和リターンで示すと、図1のようになっている。図1の通り、本研究が提案する方法を利用した方が、売買手数料を考慮した長期ポートフォリオ（長期）と短期ポートフォリオ（短期）のどちらよりも高いリターンとなっている。

また、累積リターン、標準偏差、シャープレシオ、MaxDrawDown は以下表1の通り、提案手法はパフォーマンスを改善していることがわかる。

	短期	長期	提案手法
累積リターン(年率化)	9.25%	8.67%	10.16%
標準偏差(年率化)	9.49%	8.73%	8.89%
シャープレシオ	0.97	0.99	1.14
MaxDrawDown	-7.71%	-14.18%	-11.74%

表1 分析期間における長期ポートフォリオ、短期ポートフォリオ、提案手法の各種リスク・リターン指標分析。提案手法は優れていることがわかる。

図2は長期ポートフォリオ、短期ポートフォリオ、提案手法のそれぞれの回転率をグラフ化したものである。長期ポートフォリオの回転率は最も低く、短期ポートフォリオの回転率が最も高いことが読み取れる。また、3ポートフォリオのそれぞれの平均月次回転率は表2の通りである。

	長期	短期	提案手法
平均	67.48%	176.65%	82.51%

表2 長期ポートフォリオ、短期ポートフォリオ、提案手法の月次平均回転率。

次節(3.3節)では、特徴的な期間を抽出し、それらの期間における提案手法の切り替え状況を述べる。

### 3.3 特徴的な期間の分析

本節では、長期ポートフォリオが短期ポートフォリオに負けている時期を抽出し、提案手法が平時では長期、長期が著しく損を出している時期では短期

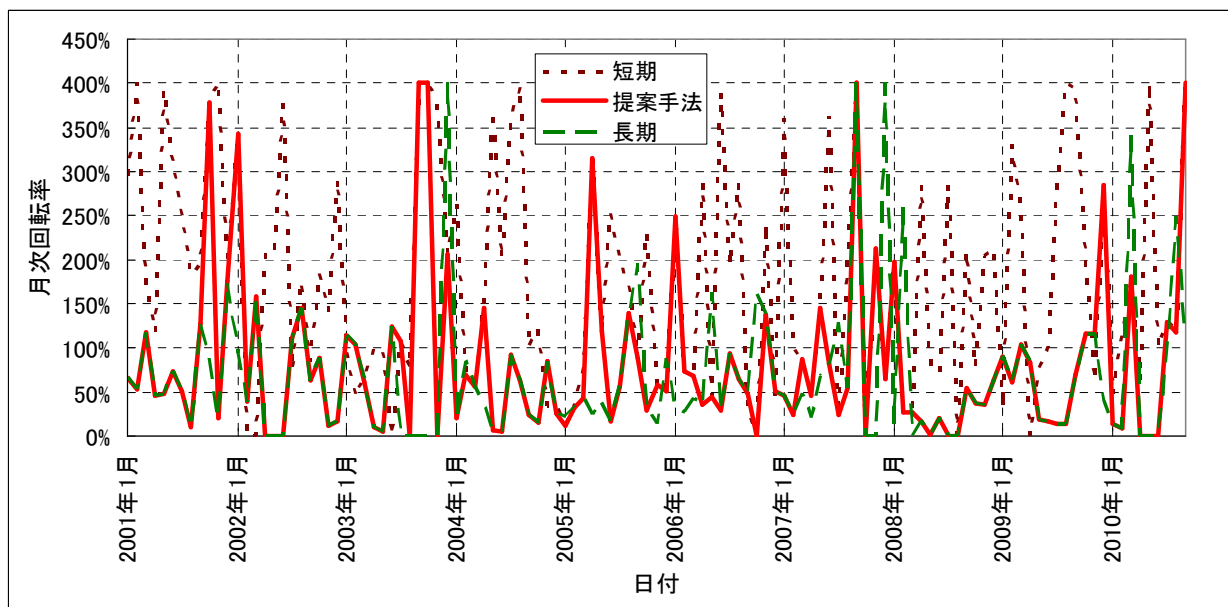


図2 分析期間における長期ポートフォリオ、短期ポートフォリオ、提案手法の回転率。提案手法は短期ポートフォリオよりも低いことがわかる。

に切り替えるという目的が果たしているかを検証する。

図1において、長期ポートフォリオが短期ポートフォリオに負けている時期をピックアップすると、以下表3の時期である。

時期No	月No	日付	長期	短期	差	提案手法
1	1	2001/11/30	1.74%	2.30%	-0.56%	1.74%
	2	2001/12/28	-5.05%	-3.89%	-1.15%	-5.05%
	3	2002/1/31	0.73%	6.47%	-5.75%	6.47%
2	4	2002/12/30	-1.54%	1.17%	-2.70%	-1.54%
	5	2003/1/31	1.78%	6.17%	-4.39%	1.78%
	6	2003/2/28	0.02%	1.58%	-1.56%	0.02%
3	7	2003/5/30	2.63%	8.87%	-6.24%	2.63%
	8	2003/6/30	-1.14%	-0.76%	-0.37%	-1.14%
4	9	2003/8/29	0.40%	2.57%	-2.18%	0.40%
	10	2003/9/30	-4.49%	-0.52%	-3.98%	-0.52%
5	11	2007/8/31	-2.98%	-2.54%	-0.44%	-2.98%
	12	2007/9/28	0.97%	0.97%	0.00%	0.97%
	13	2007/10/31	-2.66%	-2.66%	0.00%	-2.66%
	14	2007/11/30	-2.20%	0.77%	-2.97%	0.77%
	15	2007/12/28	-0.30%	1.23%	-1.53%	1.23%
6	16	2009/4/30	4.85%	5.10%	-0.25%	4.85%
	17	2009/5/29	7.37%	3.53%	3.84%	7.37%
7	18	2009/11/30	-6.17%	-6.21%	0.04%	-6.17%
	19	2009/12/30	-0.71%	2.12%	-2.83%	2.12%

**表3 長期ポートフォリオが短期ポートフォリオに負けている時期。長期ポートフォリオが大きな損失を出している時期に関しては、提案手法のリターンからもわかる通り、短期ポートフォリオに切り替えている。**

上記表3において、長期が大きく負けてしまい、その翌月に短期に切り替え、大きな損失を避けることができた例として、時期Noで、1、4、5、7が挙げられる。しかしながら、時期No2、3のように、長期、短期で大きな差があったものの、長期が大きく負けたというよりも、短期のパフォーマンスが著しくよかった時期に関しては、その翌月では長期リターンから短期リターンに切り替わらない。今回の研究は市場が急変する、つまり長期ポートフォリオが急に大きく負けてしまう時期に翌月から短期に切り替えられるかという研究のため、このような結果になるのは予想通りといえる。

また、時期6のように、ある月に短期が長期に勝ったものの、その持続性がない月に関しては、今までの研究では短期に切り替わってしまい、翌月のリターンを得られないが、今回の研究では長期を維持することができた。このように、長期ポートフォリオを維持しながら、市場の急変により、長期が著しく損失を出してしまう時期において、本研究の方法で翌月から素早く短期ポートフォリオに切り替えることで、損失を限定する効果がある。

## 4. まとめと展望

本研究は、Sorensenの方法と古幡らの方法を組み合わせ、売買回転率をおさえつつ、市場環境急変時

にも対応した手法を提案し、日本株でどのような成果を得られるかを検証した。

本研究が提案する手法では、通期で見れば、長期ポートフォリオや短期ポートフォリオのどちらよりも高いリターンで、かつ低いリスク、MaxDrawDownが改善するという結果となった。また、長期ポートフォリオリターンが短期ポートフォリオリターンに負けている時期にフォーカスしてみると、長期ポートフォリオが大きな損失を出してしまっている時期に関しては短期ポートフォリオに切り替えを行っている。しかし、長期ポートフォリオは損失を出していないが、短期ポートフォリオがそれを上回る高いリターンを出している時期に関しては、短期ポートフォリオに切り替えを行っていないという結果になった。このように、長期ポートフォリオを維持しながら、市場の急変により、長期が著しく損失を出してしまう時期において、本研究の方法で翌月から素早く短期ポートフォリオに切り替えることで、損失を限定する効果がある。

本研究では、長期ポートフォリオが著しく損失を出してしまう時期に関しては、短期ポートフォリオに素早く切り替え、損失を限定する効果はある。しかし、長期ポートフォリオがある程度リターンを出しているが、短期ポートフォリオがそれを上回る高いリターンを出している時期に関しては、切り替えは行われていない。そのため、機会損失が発生している。このことに関しては、次回の課題にしたい。また、今回のリターンの計測方法は五分位スプレッドリターンという手法を使っているが、そのリターンを実現するためには、第一分位のすべての銘柄をロングし、第五分位のすべての銘柄をショートする必要があるため、実務上では実際に実現することは難しいと考えられる。今度は、日経ポートフォリオマネージャー(NPM)等のポートフォリオマネジメントを利用して、より実務に近いシミュレーションを行うことを挑戦したい。

## 留意事項

本論文はスパークス・アセット・マネジメント株式会社の公式見解を表すものではありません。すべては個人的見解であります。本論文に記載された情報は信頼すべき情報源から入手したものです。誤りが存在する可能性があります。したがって、該当情報および結果の正確性について一切保証するものではありません。また、意思決定に関してなんらの推奨をするものでもありません。

## 参考文献：

[1] Brown, Brian R.: Chasing the Same Signals, Wiley

Trading, (2010).

- [ 2 ] Carhart, M.: On persistence of mutual fund performance, *Journal of Finance* 52, pp.57-82., (1997)
- [ 3 ] Eric H.Sorensen, Edward Qian, Robert Schoen, and Ronald Hua :Multiple Alpha Sources and Active Management, *The Journal of Portfolio Management*, pp.39-45 , (2004)
- [ 4 ] Fabozzi, Frank J., Sergio M. Focardi, and Petter N.Kolm: *Quantitative Equity Investing: Techniques and Strategies*, Wiley , (2010)
- [ 5 ] Fama.E.F and French.K.R: The Cross-Section of Expected Stock return, *Journal of Finance* 47 , pp.427-465 , (1992)
- [ 6 ] Furuhashi M., Mizuta T., So J.: Paired Evaluators Method to Track Concept Drift: An application for Hedge Funds Operations, 5<sup>th</sup> International Workshop on Chance Discovery, IWCD10 , (2010)
- [ 7 ] Kestner, Lars: *Quantitative Trading Strategies: Harnessing the Power of Quantitative Techniques to Create a Winning Trading Program*, McGraw-HILL, (2003).
- [ 8 ] Khandani , A.E., and Lo, A.W.: What happened to the quants in August 2007?, Working paper, Massachusetts Institute of Technology. , (2007)
- [ 9 ] Narang, Rishi K.: *Inside the Black Box*, Wiley Finance, (2009)
- [ 1 0 ] Sharpe, W.F.: Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk, *Journal of Finance*, 19 (3), 425-442. , (1964)
- [ 1 1 ] Tortorello, Richard: *Quantitative Strategies for Achieving Alpha*, McGraw-Hill , (2008)
- [ 1 2 ] 大庭昭彦編著：最新金融工学に学ぶ資産運用戦略, 東洋経済新報社, (2008)
- [ 1 3 ] 杉原慶彦：取引コストの削減を巡る市場参加者の取り組み：アルゴリズム取引と代替市場の活用, 日本銀行金融研究所 Discussion Paper No.2010-J-26, (2010)
- [ 1 4 ] 古幡征史、水田孝信、曹治平：市場急変に対応する予測モデルの提案, 人工知能学会ファイナンスにおける人工知能応用研究会 第5回, (2010)
- [ 1 5 ] 水田孝信、小林悟：機関投資家が人工知能に期待すること, 人工知能学会ファイナンスにおける人工知能応用研究会 第3回, (2009)