

非線形ポートフォリオモデルを用いた外国為替自動取引システムの構築

和知 宏武[†] Vu Tat Thanh[†] 猪瀬 悟史^{††} 神成 敦^{†††} 鈴木 智也[†]

[†] 茨城大学工学部知能システム工学科 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1

^{††} 茨城大学大学院理工学研究科 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1

^{†††} MS&AD インシュアランスグループホールディングス (株) 〒103-0028 東京都中央区八重洲 1-3-7

E-mail: [†]{10t6056y, 10t6005a}@hcs.ibaraki.ac.jp, tsuzuki@mx.ibaraki.ac.jp,

^{††}12nd202x@hcs.ibaraki.ac.jp, ^{†††}atsushi.kannari@gmail.com

あらまし 先行研究において我々は非線形ポートフォリオモデル [1], [2] を提案し, 株式市場における有用性を示した. しかし外国為替市場における検証は未だなされていない. 外国為替市場は全世界で 24 時間取引されているため, 株式市場よりも流動性が高く, 流動性リスクが低い. また株式市場のような空売り規制や単元株制度が無いため, 個人投資家でも参入しやすく, 少額からポートフォリオを運用できる. そこで本研究では, 非線形ポートフォリオモデルを外国為替市場に適用できるように拡張した. その結果, 先行研究と同様に, 従来の平均分散ポートフォリオモデルよりも高収益かつ低リスクな投資を実現できた. さらに実際の運用を想定して, 非線形ポートフォリオモデルを用いた自動取引システムを構築した. 個人投資家向けの自動取引ソフトウェアとして MetaTrader が有名であるが, プログラム形式が特殊であり, またバージョン間の互換性に乏しいという問題がある. そこで本研究では, 非線形ポートフォリオモデルについては汎用的なプログラム言語である Matlab を用いて実装し, 新規データの取得と取引注文の発注については MetaTrader で自動化した. さらに両者を結合することで, 毎日の取引プロセスを完全に自動化した.

キーワード 非線形時系列予測, 非線形ポートフォリオモデル, 外国為替市場, 自動取引システム

Automated Forex Trading System Using the Nonlinear Portfolio Model

Hirotake WACHI[†], Thanh Vu TAT[†], Satoshi INOSE^{††}, Atsushi KANNARI^{†††}, and

Tomoya SUZUKI[†]

[†] Department of Intelligent Systems Engineering, College of Engineering, Ibaraki University
Nakanarusawa-cho 4-12-1, Hitachi-shi, Ibaraki, 316-8511 Japan

^{††} Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

^{†††} International Audit Department, MS&AD Insurance Group Holdings

Yaesu 1-3-7, Cyuo-ku, Tokyo, 316-8511 Japan

E-mail: [†]{10t6056y, 10t6005a}@hcs.ibaraki.ac.jp, tsuzuki@mx.ibaraki.ac.jp,

^{††}12nd202x@hcs.ibaraki.ac.jp, ^{†††}atsushi.kannari@gmail.com

Abstract In our previous studies [1], [2], the nonlinear portfolio model was proposed and its usefulness was confirmed in stock markets. However, stock markets have some problems and inconvenient rules such as low liquidity risks, regulations for short selling, and the unit share system. Then, the nonlinear portfolio model has not yet been confirmed whether it can work in foreign exchange markets. For these reasons, in the present study, we modified the nonlinear portfolio model in order to apply it to foreign exchange markets, and then developed a new automated trading system. Here, MetaTrader has been well-known as a famous free tool to make an automated trading system. However, the way of programing is unique, and it is sometimes changed by releasing a new version. So, we do not use it mainly, but only for getting new price data and sending orders to the market. For composing the nonlinear portfolio model, we instead use Matlab, which is a standard programing software. Finally, we connect Matlab with MetaTrader to repeat the daily investment process automatically everyday.

Key words Nonlinear time-series prediction, nonlinear portfolio model, foreign exchange markets, automated trading system

1. はじめに

マーコビッツのポートフォリオ理論 [3] により、複数の資産に分散投資することで投資に伴うリスクを最小化できる。この理論では、将来の期待収益率や価格変動リスクを過去の収益率変動の平均値および標準偏差によって推定している。しかし、複雑な金融市場を移動平均という単純な方法によって予測することに相当するため、将来の収益率を評価する予測モデルとして十分であるとは言い難い。そこで先行研究 [1], [2] では、より高次の予測モデルである非線形予測モデルをポートフォリオ理論に導入し、株式投資の収益性を向上できることを報告している。

本研究では実際の運用を想定して、この非線形予測モデルを用いた自動取引システムを構築する。一般に、投資家のうち利益を得ている者は 2 割程度しかいないと言われているが、その理由は行動心理学によれば、人間心理は損失を拡大させるように働くことが知られている。つまり投資判断において、人間心理によらない客観的なアプローチが必要であるため、近年はアルゴリズムによるシステムトレードが盛んである。また、最新の市場データの収集、分析、発注までも自動で行うことで、投資活動における人的負担を軽減することができる。

個人投資家向けの自動取引システムとして、既に MetaTrader [4] が存在する。しかし MetaTrader は MQL 言語という独自のプログラム形式を採用しているため汎用性が乏しい。さらに MetaTrader のバージョンアップに伴いプログラム形式も変更されるケースがあり、バージョン間の互換性に乏しいという問題もある。そこで本研究では、MetaTrader を最新のデータの取得と発注のみに制限し、投資行動の決定アルゴリズムには汎用的なプログラミング言語である Matlab で記述する。

しかし現在の MetaTrader では日本株の売買は非対応であり、個人投資家のニーズが高い外国為替取引 (FX) が主要である。特に日本の株式市場には空売り規制や単元株制度などの制約があり、さらに低流動性銘柄については自由に取引を約定できない危険性 (流動性リスク) がある。一方、FX は 24 時間取引可能であり流動性も非常に高いため、株式投資における流動性の問題を緩和できる。以上の理由により、本研究では FX 市場を想定した自動取引システムを構築する。

しかし、先行研究 [1], [2] による非線形ポートフォリオモデルは株式市場を想定しているため、FX 市場と事情が異なる。特にポートフォリオのリバランスにおいて、文献 [2] では取引コスト (手数料) を考慮した評価関数を設計しているが、FX 取引に対応できない。FX 市場では売値と買値の 2 種類が同時に存在し、その差のスプレッドが取引コストに相当するため、株式市場の手数料と根本的に異なる。そこで 3 章において、ポートフォリオのリバランスにおける評価関数を FX 用に再設計する。次に 4 章では、FX に対応した非線形ポートフォリオモデルを用いて自動取引システムを構築する。5 章では、MetaTrader を通じて実際に入手した FX データに基づいて投資シミュレーションを行い、本システムの性能を評価する。最後に 6 章にて、まとめと今後の課題を述べる。

2. ポートフォリオモデル

2.1 平均分散ポートフォリオモデル

ポートフォリオモデルの原点として、マーコビッツが提案し

た平均分散ポートフォリオモデル [3] を示す。まず時刻 t における投資対象銘柄 i , ($i = 1, 2, \dots, N$) の取引価格を $x_i(t)$ とすると、その時の収益率 $r_i(t)$ は

$$r_i(t) = \frac{x_i(t) - x_i(t-1)}{x_i(t-1)}$$

となる。平均分散ポートフォリオモデルでは、将来時刻 $t+1$ における期待収益率 $\bar{r}_i(t+1)$ とリスク $\bar{\sigma}_i(t+1)$ を、直近 T 期間の移動平均値とボラティリティによって推定する。

$$\bar{r}_i(t+1) = \bar{r}_i(t) = \frac{1}{T} \sum_{a=0}^{T-1} r_i(t-a) \quad (1)$$

$$\bar{\sigma}_i(t+1) = \sigma_i(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{a=0}^{T-1} [r_i(t-a) - \bar{r}_i(t)]^2} \quad (2)$$

同様に、将来の共分散 $\bar{\sigma}_{ij}(t+1)$ も直近の T 期間より推定する。

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{ij}(t+1) &= \sigma_{ij}(t) \\ &= \frac{1}{T} \sum_{a=0}^{T-1} [r_i(t-a) - \bar{r}_i(t)] \cdot [r_j(t-a) - \bar{r}_j(t)] \end{aligned} \quad (3)$$

したがって、組合せ比率 $\{d_i\}$ でポートフォリオを組むとき、ポートフォリオの期待収益率 $\bar{r}_p(t+1)$ とリスク $\bar{\sigma}_p(t+1)$ は次式となる。

$$\bar{r}_p(t+1) = \sum_{i=1}^N d_i \bar{r}_i(t+1) = \sum_{i=1}^N d_i \bar{r}_i(t) \quad (4)$$

$$\bar{\sigma}_p(t+1) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_i d_j \bar{\sigma}_{ij}(t+1)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_i d_j \sigma_{ij}(t)} \quad (5)$$

2.2 非線形ポートフォリオモデル

次節で述べる非線形予測法を利用して平均分散ポートフォリオモデルを書換える。期待収益率 $\bar{r}_i(t+1)$ とは最も出現確率が高い将来値であるので、式 (1) において何らかの予測モデルを想定すれば、 $\bar{r}_i(t+1)$ は予測値に相当する。つまり従来の平均分散ポートフォリオモデルでは、式 (1) において移動平均予測法を採用していると解釈できる。しかし非線形ポートフォリオモデルでは予測性能を向上すべく、例として次の非線形予測法を採用している [1], [2]。

まず前処理として、時系列データ $r_i(t)$ に対して埋め込み定理 [5] を適用し、多次元状態ベクトル $v_i(t)$ を構成する。

$$v_i(t) = [r_i(t), r_i(t-\tau), \dots, r_i(t-(d-1)\tau)] \quad (6)$$

ここで、 τ は遅れ時間、 d は埋め込み次元を表す。将来の期待収益率の推定に非線形予測モデルを適用すると、

$$\bar{r}_i(t+1) = [v_i(t) \ 1] \cdot F \quad (7)$$

によって式 (1) を算出できる。

そこで過去のヒストリカルデータを学習データ (データ長 L) とし、重み付き最小二乗法によってモデル係数 F の推定する。まず、予測対象点と各学習データ間のユークリッド距離

$$l_i(t, a) = |v_i(t) - v_i(t-a)|$$

を算出し、重み係数を

$$w_i(t, a) = \exp(-l_i(t, a))$$

とする。次に、これらを対角成分に収めた対角行列を

$$W = \text{diag}(w_i(t, 1), w_i(t, 2), \dots, w_i(t, L + (d-1)\tau + 1))$$

とし、

$$X = \begin{bmatrix} v_i(t-1) & 1 \\ v_i(t-2) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ v_i(t-L+(d-1)\tau+1) & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y = [r_i(t), r_i(t-1), \dots, r_i(t-L+(d-1)\tau+2)]^t$$

と書くと、 $WY = WXF$ の近似誤差を最小にする係数 F は

$$\tilde{F} = [X^t W^t W X]^{-1} X^t W^t W Y$$

によって推定される。これを式 (7) の F に用いる。なお、式 (1) の次数 T と式 (6) の遅れ時間 τ および埋込み次元 d は、学習データにおける $\tilde{r}_i(t+1)$ の推定精度が最良になるように交差確認法によって決定した。

以上のように非線形ポートフォリオでは、式 (1) を式 (7) に変更し、これを式 (4) に代入することでポートフォリオの期待収益率 $\tilde{r}_p(t+1)$ を推定できる。さらに式 (2) では、予測誤差の期待値をリスク $\tilde{\sigma}_i(t+1)$ とし、直近のボラティリティで代用している。しかし非線形予測モデルでは、過去の予測誤差 $r_i(t') - \tilde{r}_i(t')$ ($t' \leq t$) を直接的に用い、その平均値によってリスク $\tilde{\sigma}_i(t+1)$ を推定する。

$$\tilde{\sigma}_i(t+1) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{a=0}^{T-1} [r_i(t-a) - \tilde{r}_i(t-a)]^2}$$

なお、式 (5) の共分散についても同様に、

$$\tilde{\sigma}_{ij}(t+1) = \frac{1}{T} \sum_{a=0}^{T-1} [r_i(t-a) - \tilde{r}_i(t-a)] \cdot [r_j(t-a) - \tilde{r}_j(t-a)] \quad (8)$$

とする。これを式 (5) に代入すれば、ポートフォリオのリスク $\tilde{\sigma}_p(t+1)$ を推定できる。

3. ポートフォリオの最適化とリバランス

合理的な投資を実現するには、式 (1) の期待収益率 $\tilde{r}_p(t+1)$ を最大化かつ式 (5) のリスク $\tilde{\sigma}_p(t+1)$ を最小化すれば良い。つまり評価指標として以下のシャープレシオ [6] S_r

$$S_r(t) = \frac{\tilde{r}_p(t+1) - r_f}{\tilde{\sigma}_p(t+1)} \quad (9)$$

を最大化する組合せ比率 $\{d_i\}$ によってポートフォリオを構成する。ここで、 r_f はリスクフリーレートであり、無担保コールレート翌日物 [7] を使用する。なお $\tilde{r}_p(t+1) < 0$ となる時はポートフォリオ全体を空売りすることで期待リターンを正にする。その際には $d_i < 0$ かつ $\sum_{i=1}^N d_i = -1$ とし、組合せ比率 $\{d_i\}$ を最適化する。

もし手数料等の取引コストが掛からないならば、式 (9) の $S_r(t)$ は毎時刻において独立に最適化できる。しかし実際の株取引では、取引量に応じた仲介手数料を証券会社に支払う必要がある。また FX 取引では仲介手数料を取らないブローカーが一般的であるが、しかし売値と買値に差額が存在するため、このスプレッドが取引コストに相当する。つまり、たとえ次時刻において $S_r(t+1)$ をより大きくできるとしても、ポートフォリオのリバランスには取引コストが発生するため、時刻 t と独立にリバランスできない。そこで先行研究 [2] では、仲介手数料 $c(t)$ を考慮したシャープレシオ S'_r を提案している。

$$S'_r(t) = S_r(t) - \frac{c(t)/M(t)}{\tilde{\sigma}_p(t+1)} \quad (10)$$

$$c(t) = f(v(t)) \quad (11)$$

$$v(t) = M(t) \sum_{i=1}^N |d_i^*(t) - d_i(t)| \quad (12)$$

ここで、 $M(t)$ は時刻 t での所有資産額、 $d_i^*(t)$ は式 (9) によって最適化される新しい組合せ比率である。時刻が変わればポートフォリオ構成銘柄の価格は変化し、自動的に組合せ比率 d_i も変化する。つまり $d_i(t)$ は、過去に最適化された $d_i^*(t-1)$ と異なる (ただし符号は変化しない)。そのため式 (11) では、 $d_i^*(t-1)$ ではなく $d_i(t)$ からの差分を計算している。さらに式 (11) の f は手数料関数であり、証券会社によって異なる。

さて、本研究では FX 市場を対象とする。先述のように FX のブローカーは一般的に仲介手数料を取らないが、売値と買値にスプレッドを設けている。これは株取引の仲介手数料に比べ安価であるが、本研究ではスプレッドも考慮できるようにシャープレシオを再設計する。

まず、FX 市場における各通貨 i ($i = 1, 2, \dots, N$) の買値を $Bid_i(t)$ 、売値を $Ask_i(t)$ 、スプレッドを S_i とする。なお買値と売値はブローカー側の呼び方であるため、我々の立場では $Bid_i(t)$ は売値、 $Ask_i(t)$ は買値になる。つまり $Bid_i(t) \leq Ask_i(t)$ である。なおスプレッド S_i は各通貨で異なるが原則固定であるため、 $Ask_i(t) = Bid_i(t) + S_i$ となる。また本研究で用いる MetaTrader [4] では、自動取得できる価格データは Bid のみであるため、以下のように売値と買値の収益率を求める。

$$r_{B,i}(t) = \frac{Bid_i(t) - Bid_i(t-1)}{Bid_i(t-1)} \quad (13)$$

$$r_{A,i}(t) = \frac{Ask_i(t) - Ask_i(t-1)}{Ask_i(t-1)} = r_{B,i}(t) \frac{Bid_i(t-1)}{Bid_i(t-1) + S_i} \quad (14)$$

ここで前述の予測法により $r_{B,i}(t+1)$ を予測し、その予測値 $\tilde{r}_{B,i}(t+1)$ を上式 (13), (14) に代入すれば、他の予測値 $\tilde{r}_{A,i}(t+1)$ 、 $\tilde{Bid}_i(t+1)$ 、 $\tilde{Ask}_i(t+1)$ も算出できる。

もし次時刻 $t+1$ に反対売買によってポジションをクローズしないのであれば、期待収益率の計算にはスプレッド S_i を考慮する必要はない。最適化された組合せ比率が $d_i^*(t) \geq 0$ となる通貨 $\{i_A\}$ については買取引を行うため、期待収益率は

$$\tilde{r}_{i \in \{i_A\}}(t+1) = \tilde{r}_{A,i}(t+1) = \tilde{r}_{B,i}(t+1) \frac{Bid_i(t)}{Bid_i(t) + S_i}$$

となる。一方、 $d_i^*(t) < 0$ となる通貨 $\{i_B\}$ については売取引を行うため、

$$\tilde{r}_{i \in \{i_B\}}(t+1) = \tilde{r}_{B,i}(t+1)$$

となる。以上の $\tilde{r}_i(t+1)$ を式 (4) に代入することで、ポートフォリオ全体の期待収益率 $\tilde{r}_p(t+1)$ が得られる。次に、式 (3) または式 (8) において $r_{i \in \{i_A\}} = r_{A,i}$, $r_{i \in \{i_B\}} = r_{B,i}$, $r_{j \in \{i_A\}} = r_{A,i}$, $r_{j \in \{i_B\}} = r_{B,i}$ とみなし、得られた共分散の期待値 $\tilde{\sigma}_{ij}(t+1)$ を式 (5) に代入することで、ポートフォリオ全体のリスク $\tilde{\sigma}_p(t+1)$ を得る。最初にポートフォリオを設定する場合は取引コスト $c(1) = f(M(1))$ が発生するが、リバランスに伴う取引コストは掛からないので、式 (10) によって組合せ比率 $\{d_i\}$ を最適化できる。なお FX 取引は差金決済取引であり、売りと買いは独立であるため、 $\sum_{i=1}^N |d_i^*| = 1$ とする。

しかし時刻 $t > 1$ においてポートフォリオをリバランスする場合、ポジションをクローズする通貨が発生するため、スプレッド S_i による取引コストを考慮する必要がある。この場合の期待収益率を $\tilde{r}'_i(t+1)$ とすると、通貨 $i \in \{i_B\}$ については

$$\tilde{r}'_{B,i}(t+1) = \frac{\tilde{Ask}_i(t+1) - Bid_i(t)}{Bid_i(t)} = \frac{\tilde{Bid}_i(t+1) - Bid_i(t) + S_i}{Bid_i(t)}$$

となり、通貨 $i \in \{i_A\}$ については

$$\tilde{r}'_{A,i}(t+1) = \frac{\tilde{Bid}_i(t+1) - Ask_i(t)}{Ask_i(t)} = \tilde{r}'_{B,i}(t+1) \frac{Bid_i(t)}{Bid_i(t) + S_i}$$

となる。ここで、ポジションをクローズしない場合の期待収益率 $\tilde{r}_i(t+1)$ と比較することで取引コスト率 $C_i(t)$ を計算できる。通貨 $i \in \{i_B\}$ については、

$$C_i(t) = \tilde{r}_{B,i}(t+1) - \tilde{r}'_{B,i}(t+1) = -\frac{S_i}{Bid_i(t)}$$

となり、通貨 $i \in \{i_A\}$ について、

$$C_i(t) = \tilde{r}_{A,i}(t+1) - \tilde{r}'_{A,i}(t+1) = \frac{S_i}{Ask_i(t)} = \frac{S_i}{Bid_i(t) + S_i}$$

となる。

さらにポートフォリオのリバランス時に、反対売買でクローズする割合を $V_i(t)$ とすると、

$$V_{i \in A}(t) = \begin{cases} d_i(t) - d_i^*(t), & \text{if } d_i(t) > d_i^*(t) \geq 0 \text{ \& } d_i^*(t-1) > 0 \\ 0 - d_i(t), & \text{if } d_i^*(t) \geq 0 > d_i(t) \text{ \& } d_i^*(t-1) < 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

$$V_{i \in B}(t) = \begin{cases} d_i^*(t) - d_i(t), & \text{if } d_i(t) < d_i^*(t) < 0 \text{ \& } d_i^*(t-1) < 0 \\ d_i(t) - 0, & \text{if } d_i^*(t) < 0 < d_i(t) \text{ \& } d_i^*(t-1) \geq 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

となる。したがって取引コスト率の総和は、

$$C_p(t) = \sum_{i \in A} V_i(t) C_i(t) + \sum_{i \in B} V_i(t) C_i(t)$$

となる。この $C_i(t)$ を式 (10) に追加することで、FX 取引に準拠したシャープレシオ S''_r を構築できる。

$$S''_r(t) = S'_r(t) - \frac{C_p(t)}{\sigma_p} \quad (15)$$

ただし FX 取引では、仲介手数料は一般的に 0 円であるため $S'_r(t) = S_r(t)$ とする。

なお FX 取引は差金決済取引であるため、日本では最大 25 倍のレバレッジ率を設定できる。これにより小額の資金から金

融投資を開始できるので、FX は個人投資家にとって代表的な資産運用方法として広く認知されている。しかしブローカーによって、株式市場の単元制と同様に最小取引単位が設定されており、1000 通貨単位を 1 取引とすることが一般である。ここでレバレッジ率を χ とすると、運用可能金額 $m(t)$ を $\chi M(t)$ にできる。さらに最小取引単位に準拠するために、シャープレシオ最大化によって最適化された投資比率 $\{d_i^*(t)\}$ を修正する必要がある。ここで各通貨の取引量 $u_i(t)$ は、

$$u_i(t) = \begin{cases} d_i^*(t)m(t)/Ask_i(t), & \text{if } d_i^*(t) \geq 0 \\ -d_i^*(t)m(t)/Bid_i(t), & \text{if } d_i^*(t) < 0 \end{cases} \quad (16)$$

であるので、最小取引単位に応じて繰上げまたは繰下げを行う。ここで修正された取引量を $\hat{u}_i(t)$ と書く。 $\{\hat{u}_i(t)\}$ のパターン数は 2^N 通りに及ぶが、FX 取引では株取引と異なり通貨数 N が少ないので、列挙法によるしらみつぶし計算が可能である。修正後の $\{\hat{u}_i(t)\}$ に対して式 (16) を逆算すれば、修正後の組合せ比率 $\{\hat{d}_i^*(t)\}$ が得られる。これに基づいて $\{V_i(t)\}$ を再計算し、 $C_p(t)$ および $S''_r(t)$ を修正する。そして $S''_r(t)$ を最大化する最適解 $\{\hat{d}_i^*(t)\}$ を、最終的な投資比率 $\{d_i^*(t)\}$ として採用する。ただし最適化に伴う制約として、修正後の取引総額

$$\hat{U}(t) = \sum_{i \in A} \frac{\hat{u}_i(t) Ask_i(t)}{\hat{d}_i^*(t)} - \sum_{i \in B} \frac{\hat{u}_i(t) Bid_i(t)}{\hat{d}_i^*(t)} \quad (17)$$

が $m(t)$ を越える場合については、実行不可能解であるため除外する。

さらに最小取引単位に従えば端数が生じる。ここで実際に運用できた金額を $m'(t)$ とすると、未達成の運用額は $m(t) - m'(t)$ となる。したがって次時刻 $t+1$ の資産額 $M(t+1)$ は、

$$M(t+1) = M(t) + (r_p(t+1) - C_p(t))m'(t) + \frac{m(t) - m'(t)}{\chi}$$

$$r_p(t+1) = \sum_{i \in \{i_A\}} d_i^*(t) r_{A,i}(t+1) + \sum_{i \in \{i_B\}} d_i^*(t) r_{B,i}(t+1)$$

となる。ここで $r_{A,i}(t+1)$ および $r_{B,i}(t+1)$ は実際の価格変化によって得られた収益率である。

4. 外国為替自動取引システムの構築

4.1 概要

個人投資家向けの自動取引システムとして、ロシアの MetaQuotesSoftware 社が開発した MetaTrader(MT) が有名である。FX 取引を仲介するブローカーらは独自に変更を加えた MT を無料で提供しており、ユーザーはこれを通じて FX の発注・決済を行うことができる。しかし MT は独自のプログラミング言語である MQL を用いるため汎用性に乏しく、システムのバージョンアップに伴いプログラム形式が変更される場合もあり、メインプログラムとして利用するには問題がある。そこで本研究では、MT を最新データの取得や取引発注のみに特化し、計算処理が複雑なポートフォリオ最適化については Matlab で実装する。

図 1 に本提案システムの構造を示す。まず MT(#1) において、Outdata インディケータ (図 2(a)) を実行し、ヒストリカルデータ (Bid のみ) をダウンロードする (#2)。最初のみ取得

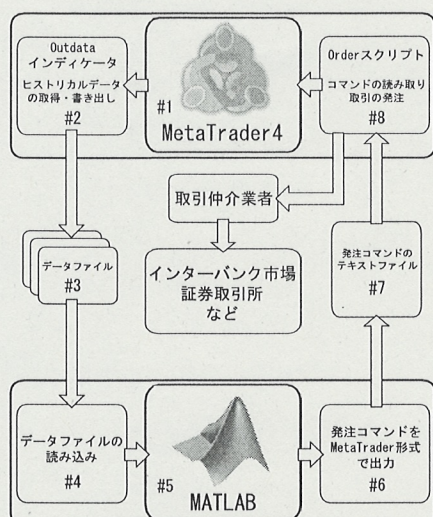


図 1 提案する FX 自動取引システムの構造

通貨とデータ長を手動で入力するが、Outdata インディケータ
 が実行された後は、価格が更新される度に自動でデータファイ
 ルを出力する (#3)。このデータファイルは、ユーザーが指定
 した Files フォルダに格納される。

さらに Matlab 上で LoadDatFiles 関数 (図 2(b)) を実行して
おき、Files フォルダを常時監視させておく。もしデータファイル
が更新されたら、これを自動で認識し、新データファイルを
Matlab 上にロードする (#4)。その後、2 章および 3 章のポート
フォリオモデルによって投資比率 $\{d_i^*(t)\}$ を決定し (#5)、こ
れを MT が認識できる文法に翻訳し (#6)、テキストファイル
として Trade フォルダに書き出す (#7)。発注コマンドでは、
注文方法の選択 (成行注文・指値注文・逆指値注文・注文の変
更・注文の取り消し)、銘柄情報 (銘柄・取引価格・数量) やマ
ネーマネジメント情報 (利食い・損切り・有効期限) について指
定することができる。なお本研究では、成行注文・銘柄・数量
以外は指定しない。

さらに MT 上で Order スクリプト (図 2(c)) を実行しておき、Trade フォルダを常時監視させておく。Matlab によって発注コマンドが更新されたら、これを自動で認識し、新発注コマンドを MT 上にロードする (#8)。MT は自動で発注コマンドを実行し、発注の詳細を FX 仲介業者に伝達する。FX 仲介業者はインターバンク市場で取引相手を見つけ、発注を執行する。

このようにユーザーは、初期設定として MT 上で Outdata インディケータと Order スクリプトを起動し、Matlab 上で LoadDatFiles 関数を実行しておくだけで、以後は市場価格が更新されるたびに上記のプロセスを自動で永久に繰り返す。

4.2 起動方法

まず自作したプログラムをシステムに認識させるために、MT では Outdata インディケータと Order スクリプトを experts フォルダに配置し、Matlab では LoadDatFiles 関数を work フォルダに配置しておく。その後、MT と Matlab を起動する。

次に、それぞれの自作プログラムを実行する。MT では、メイン画面左側にあるナビゲーターからカスタムインディケータのフォルダーを展開し、Outdata インディケータを選択する。これを画面中央の通貨チャートにドラッグ&ドロップする。

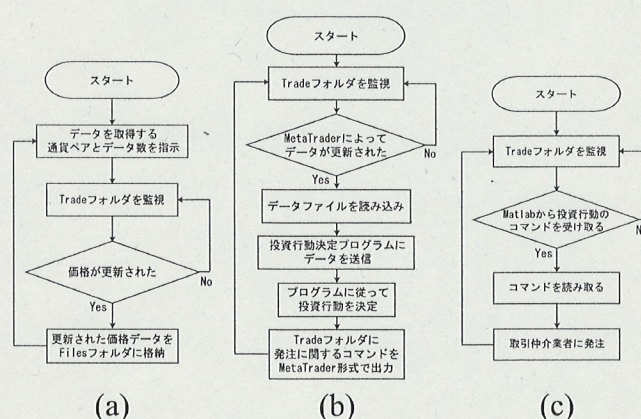


図 2 (a) MT 用の Outdata インディケータのフローチャート, (b) Matlab 用の LoadDatFiles 関数のフローチャート, (c) MT 用の Order スクリプトのフローチャート.

と GUI が表示されるので、取得したいデータ数を length パラメータとして入力する。例えば 1000 と入力した場合、1000 日前から前日までの価格データが Files フォルダーに書き出される。初期設定以降は、価格データが更新される度に自動でデータファイルに追記される。この Outdata インディケータの初期設定を、データを取得したい全ての通貨に対して行う。

同様に、MT のメイン画面左側にあるナビゲータから手動でスクリプトフォルダを展開し、自作の Order スクリプトを選択する。これを画面中央の通貨チャートにドラッグ&ドロップすると GUI が表示されるので、メール送信機能やマネーマネジメント機能など、必要に応じて false(不使用) を true(使用) に変更する。これにより MT に Trade フォルダーを常時監視させ、Matlab が出力する注文コマンドを受取ることができる。この初期設定は全通貨に対して行う必要はなく、1 度行えば良い。

Matlab では、コンソール画面より LoadDatFiles.m を実行する。これにより MT と Matlab が完全にリンクされ、以後はデータ取得から取引発注まで全て自動で行われる。本システムを停止したい場合は、LoadDatFiles 関数を停止させる。

5. バックテストによる本システムの検証

FX 取引において、これまで提案したシステムが有効に機能することを検証するために、実際に MT を通じて入手した価格データ $\{B_{it_i}(t)\}$ を用いてバックテストを行った。なお FX 取引の仲介業者として Owanda Japan [8] を採用し、JPY ベースの主要 8 通貨 [9] によってポートフォリオを構築した。投資期間を 2010 年 10 月 1 日から 2013 年 9 月 30 日の 3 年間とし、予測モデルの学習期間を 2004 年 7 月 21 日から 2010 年 9 月 30 日の約 6 年間とした。

図3および図4に、バックテストの結果を示す。なお、予測モデルの当てはめ精度(尤度)が高い N 通貨より順にポートフォリオを構築した。投資成績の評価のために、以下の指標を用いる。まず資産増加倍率 λ として、初期資産額に対する最終資産額の倍率を計算した。次に最大ドローダウン率 ζ として、資産の下落率の最大値を計算した。これはリスク管理において重要な指標であり、値が低いほど資産運用の安全性が高い。なお1度でも $M(t) \leq 0$ になれば破産するので強制的に投資を中

止した。そのような場合は $\lambda = 0$ [倍] および $\zeta = 100$ [%] となる。以上の結果を図 3 に示す。FX 取引においても非線形ポートフォリオモデルは良く機能しており、明らかに従来の平均分散ポートフォリオモデルより優れている。特に平均分散ポートフォリオモデルは、先行研究 [1], [2] での株取引と同様の結果であり、収益性は低く破産する危険性も大きい。また、スプレッドによる取引コストを考慮したシャープレシオ S_r'' (式 (15)) を使用した場合は、スプレッドを考慮しない従来の S_r (式 (9)) を使用した場合よりも優れている。したがって提案した S_r'' は妥当である。特に、スプレッドによる取引コストが全く存在しない理想的な状況に接近できている。さらに非線形ポートフォリオモデルにおいては、通貨数 N を増やすほどポートフォリオ効果が働き、最大ドローダウン率 ζ を低減できている。さらに資産増加倍率 λ も向上しているため、低リスクかつ高収益なポートフォリオを実現している。

次に図 4 において、勝率 ω とペイオフレシオ ν を示す。勝率 ω は、実際のポートフォリオ全体の収益率 $r_p(t+1)$ が 0 以上になった割合である。ペイオフレシオ ν は、 $r_p(t+1)$ による利益額の平均値を損失額の平均値で割ったものである。つまり損失額に対する利益額を評価しており、値が大きいほど投資活動の効率性が高い。結果として、銘柄数 N による変化は小さいが、非線形ポートフォリオモデルにおいては N を大きくするほど、 ω と ν は向上している。つまりポートフォリオ効果が高まった結果、投資活動の効率性が向上したと考えられる。なおこれらの指標においても、式 (15) で提案したスプレッドを考慮したシャープレシオ S_r'' の妥当性を確認できる。

6. ま と め

本研究では、非線形ポートフォリオモデルを外国為替 (FX) 取引に適用できるように拡張した。FX 市場ではスプレッドが取引コストに相当するため、これらを考慮したシャープレシオを再設計した。その後、MetaTrader (MT) と Matlab を結合させることで、FX 自動取引システムを構築した。その際には、MT は市場データの取得と取引の発注のみに特化し、Matlab によって非線形ポートフォリオモデルを構築した。さらに本システムの投資性能を評価すべくバックテストを行ったところ、従来の平均分散ポートフォリオモデルに比べて、低リスクかつ高収益なポートフォリオを実現できた。なお今後の課題として、JPY 以外の主要通貨 (USD や EUR 等) をベースにして網羅的に検証する必要がある。

文 献

- [1] 猪瀬悟史, 鈴木智也: “ポートフォリオ構築問題における非線形時系列予測モデルの活用,” 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J96-A, No. 7, pp. 410–422, 2013.
- [2] S. Inose, T. Suzuki and K. Yamanaka: “Nonlinear Portfolio Model and its Rebalance Strategy,” *Nonlinear Theory and its Applications, IEICE*, Vol. 4, No. 4, pp. 351–364, 2013.
- [3] H. M. Markowitz: “Portfolio Selection,” *Journal of Finance*, Vol. 7, No. 1, pp. 77–91, 1952.
- [4] MetaTrader の開発元 (MetaQuotesSoftware 社). <http://www.metatrader4.com> (参照日 2013.12.1).
- [5] F. Takens: “Detecting strange attractors in turbulence,” *Lecture Notes in Mathematics*, Vol. 898, pp. 366–381, Springer-Verlag, 1981.
- [6] W. F. Sharpe: “Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk,” *Journal of Finance*,

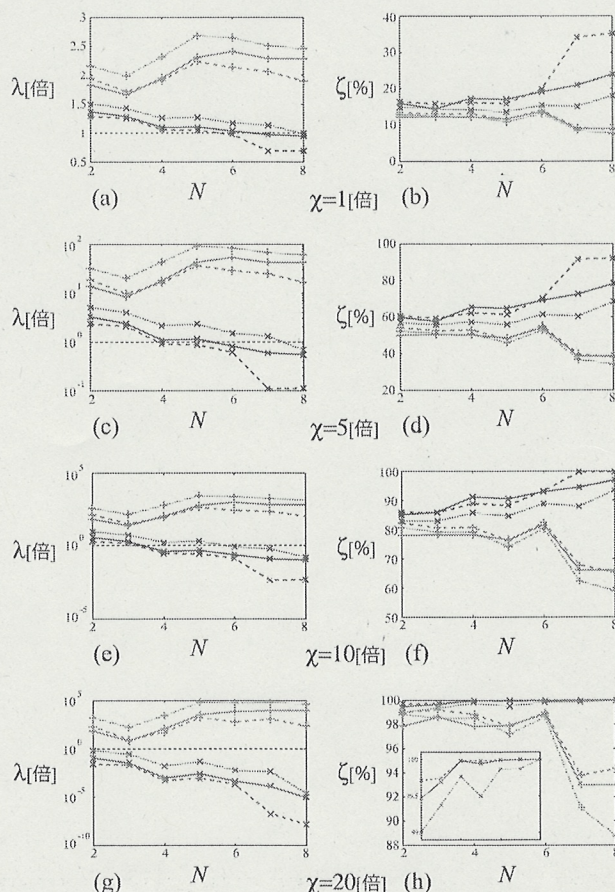


図 3 N 銘柄ポートフォリオによる資産増加倍率 λ および最大ドローダウン率 ζ の結果。各 χ はレバレッジ率を表す。各図において、+ 印は非線形ポートフォリオによる結果、 $\times$ 印は平均分散ポートフォリオによる結果である。なお、点線はスプレッドを無視した ($Ask(t) = Bid(t)$) 仮想的な場合、破線は S_r の最適化においてスプレッドを考慮せず従来の式 (9) を用いるが、資産計算では現実的にスプレッドによる取引コストを減額した場合、実線は全てにおいてスプレッドの影響を考慮し、 S_r の最適化でも提案した式 (15) を使用した場合。

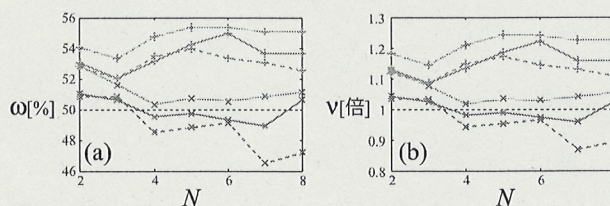


図 4 図 3 と同様。ただし、勝率 ω とペイオフレシオ ν の結果。

Vol. 19, No. 3, pp. 425–442, 1964.

- [7] 無担保コールレート翌日物データは東京証券株式会社から入手。 <http://www.tokiyotanshi.co.jp/past/index2.shtml> (参照日 2013.12.1).
- [8] Owanda Japan. <http://www.oanda.jp> (参照日 2013.12.1).
- [9] AUD/JPY, CAD/JPY, CHF/JPY, EUR/JPY, GBP/JPY, NZD/JPY, SGD/JPY, USD/JPY の 8 通貨を使用。