法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-06-18

日本株式市場におけるパンデミック時のペアトレード戦略

王, 卓雅 / WANG, Zhuoya

(出版者 / Publisher)
法政大学大学院理工学研究科
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学大学院紀要. 理工学研究科編
(巻 / Volume)
63
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
7
(発行年 / Year)
2022-03-24
(URL)
https://doi.org/10.15002/00025408

日本株式市場におけるパンデミック時のペアトレード戦略

PAIRS TRADING STRATEGIES DURING PANDEMIC IN JAPANESE STOCK MARKET

王 卓雅
Zhuoya WANG

指導教員 安田和弘

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻修士課程

A pairs trading is often said to make a profit stably by using two highly correlated stocks. The stock price difference between two highly correlated stocks is stable within a certain range. When the price difference is higher than the average, buy low-priced stock and short high-priced stock. When the price difference returns to the average, make reverse trading to obtain income. It also has the advantage that it is less affected by market changes. This paper conducts numerical experiments on several optimal strategies to compare the performance of each strategy, and investigates the effectiveness of pairs trading during the COVID-19 pandemic in Japanese stock market. As a strategy with discrete time transactions, a distance method which is called GGR method is adopted. Its thresholds for trading are exogenously determined as 2σ from the regression level without any theoretical reasons. To improve the approach, we use theoretically optimal thresholds based on the maximization of expected return. Also, we introduce an optimal continuous pair trading strategy and compare its results to those of two other methods. Finally, we study the impact of cointegration.

Key Words *: pairs trading, cointegration, threshold, expected utility maximization, stochastic process, Nikkei225, COVID-19*

1.　はじめに

2020 年 2 月から，新型コロナウイルス感染症（COVID-19）拡大の影響を受け，株式市場の変動が激しく，読めない市場での投資となった．ここでは，そのような難しい期間における投資パフォーマンスについて研究する．特に，ペアトレードと呼ばれる運用手法を用いたときの結果について考察する．ペアトレードは，相場変動の影響を受けにくい取引方法と考えられている．本研究では，基準の異なる複数のペアトレードの最適戦略に対して実データ（日経平均構成銘柄 225 社）を用いた数値実験を行い，各戦略のパフォーマンスを新型コロナウイルス蔓延により変動が激しくなった 2020 年以降の期間で比較する．離散時間取引として，距離方式（Distance method）の 1 つである Gatev, Goetzmann and Rouwenhorst 方式（GGR 方式, Gatev et al. [2]）を用いて距離の近いペアを選別する．そのパフォーマンスを改善するため，共和分の影響（Vidyamurthy [4]）を考察したり，閾値を期待リターンの最大化から理論的に決定したもの（Bertram [1]）を用いて実証実験を行う．また，連続時間取引を導入し，期待効用を最大化する最適戦略（Jurek and Yang [3]）による運用結果との比較も行う．実データでの数値実験では，パンデミック前の 2019 年のデータをパラメータ推定に用い，2020 年 1 月から 6 月の半年間，そのパラメータを用いて投資をしたパフォーマンスの評価を行う．

2.　ペアトレードとは

ペアトレードとは，相関関係の高い 2 つの金融商品の差額の変動を利用して収益をあげる取引方法のことである．同じセクターの金融商品は比較的似た様な動きをすることが多い．しかし，似た値動きをする 2 つの商品でも，何らかのタイミングで株価が離れる場合がある．この時，再度株価が近づくことを期待して高い方の銘柄を空売り，低い方の銘柄を買い，株価が近づいたときに反対売買を行えば，相場全体が下落していても利益を上げることが期待できる．例えば，図 1 であれば，2020 年 1 月の価格差が大きいところで上記のポジションを作り，3 月頃の価格差が無くなったところでポジションを解消すると株価が下落していても利益が得られる．

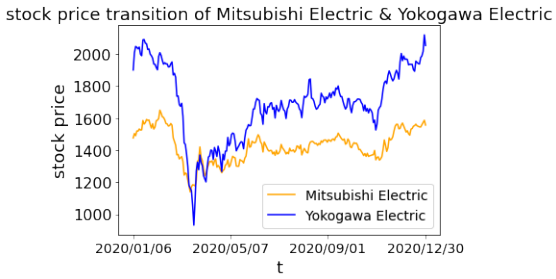


図 1: 三菱電機と横川電機の 2020 年の株価

3. 戦略の説明

この節では，本研究に用いた 3 つの戦略について説明する．大きく離散時間取引と連続時間取引の 2 種類に分類される．離散時間取引では，GGR 方式 [2] をベースに銘柄選択の改善と閾値の最適化を図るため，期待収益最大化戦略 [1] について検討する．連続時間取引では，連続的に取引を行う期待効用最大化戦略 [4] について説明する．また，共和分性についても述べる．

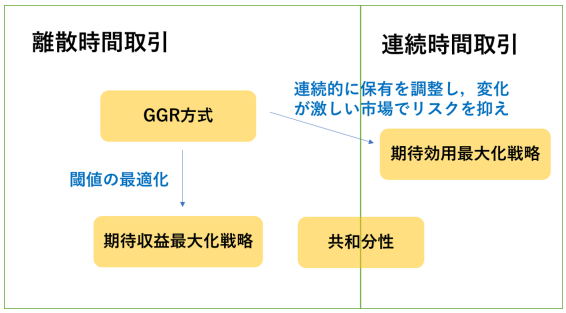


図 2: 戦略の関係図

(1) Gatev, Goetzmann and Rouwenhorst 方式

Gatev et al.[2] が示した距離方式（Distance Method）では，12ヶ月の形成期間において累積収益率の差が小さい二つの銘柄を見つけペアを組み，取引期間で単純な閾値ルールを設定し取引を行う．n 個の銘柄が存在する場合，構成可能な $\frac{n(n-1)}{2}$ ペアのそれぞれの累積収益比について，ユークリッド 2 乗距離の和（SSD）を計算し，最小の距離を持つ上位 20 ペアを対象に，形成期間後の 6ヶ月間を取引期間として取引を行う．$\tilde{P}_t$ は累積収益比を表し，$D(A,B)$ は銘柄 A と B の累積収益比の距離とし，次のように定義する．

$$\tilde{P}_t = \frac{R_t}{R_0},$$
$$D(A,B) = \sum_{t=0}^{T} (\tilde{P}_t^A - \tilde{P}_t^B)^2. \tag{1}$$

ただし，R_t は累積収益，R_0 は初期値である．

スプレッドが過去平均の 2 標準偏差 ($\pm 2\sigma$) 以上を達した時点に取引を開始し，平均水準に回帰した時点に取引が終了すると設定する．また，破産を防ぐため，スプレッドが過去平均の 3 標準偏差 (3σ) に達した時点で強制的にその時の取引を終了する．図 3 は,「三菱電機とファナック」ペアの例である．黒色の線が平均水準，青色の線は 2 標準偏差，赤色の線は 3 標準偏差を示す．例えば，70 日目付近で -2σ に達しているためポジションを作り，80 日目付近で平均水準に戻っているため解消する．またその後，2σ に達しているため，そのときポジションを作る．しかし，その後 3σ に達するため，強制的にポジションを解消する（損をする）．

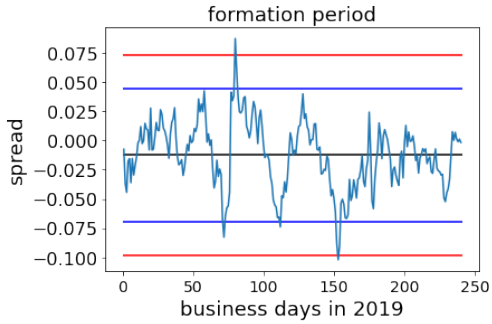
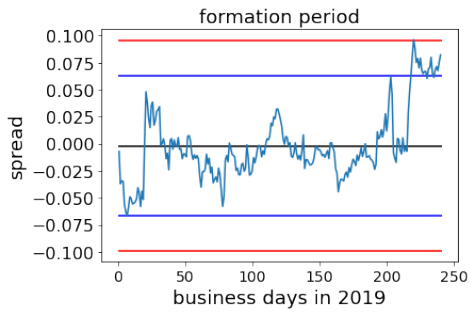


図 3: 「三菱電機-ファナック」(形成期間：2019 年)

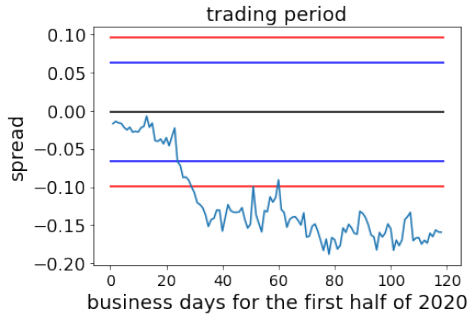
(2) 共和分性

ペアを組むとき，相関関係の高い 2 つの株を選択することが多いが，高い相関関係が見せかけの回帰を起こしている可能性がある．その場合に，スプレッドが発散して平均水準に戻らなくなってしまうリスクが高くなり，損失を出して取引を終了させる必要が生じる可能性がある．

Vidyamurthy[4] で，共和分関係を持つ 2 つの銘柄を取引対象とする共和分方式を扱っている．x_t，y_t はそれぞれ 1 階の階差で定常性を確保できる変数であると仮定し，$I(1)$ 変数と呼ぶ．このとき $z_t = y_t - kx_t$ なる線形結合について，z_t が定常となるような k が存在すれば，x_t と y_t とは共和分関係にあるという．そして z_t がある値を中心に平均回帰的に振る舞うと考えられる．両者の間には一種の均衡関係が成立するわけで，共和分の有無を調べることで両者の時系列同士の関係性を推測できる．共和分性については Augmented Engle-Granger two-step 共和分検定を Python の statsmodels.tsa.stattools.coint を用いて行った．



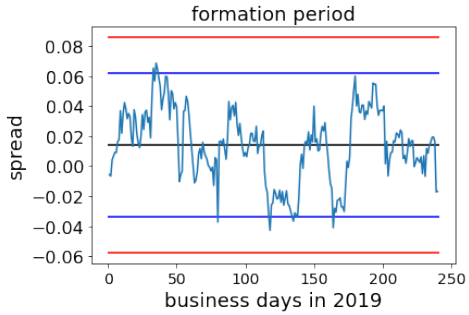
(a) 形成期間



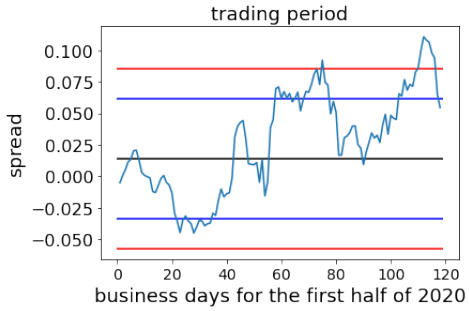
(b) 取引期間

図 4: 「住友電気工業-本田技研工業」スプレッド推移

図 4, 5 はそれぞれ形成期間を 2019 年の 12ヶ月間としたとき，GGR 方式を用いて選出されたペア「住友電気工業-本田技研工業」,「日本たばこ産業-三菱商事」のスプレッド推移を表している.「住友電気工業-本田技研工業」は形成期間において共和分関係を持たないペアで,「日本たばこ産業-三菱商事」は共和分関係を持つペアである．図 4 のように,「住友電気工業-本田技研工業」ペアのユークリッド 2 乗距離が小さくスプレッド変動も比較的小さかったが，時間の経過とともにスプレッドが発散してしまい平均水準に回帰する傾向が見られない．また,「日本たばこ産業-三菱商事」は形成期間において共和分関係を持ち，それからの取引期間において市場の変動に影響を受け回帰が弱まったが，スプレッドが発散していなく取引機会が存在している．



(a) 形成期間



(b) 取引期間

図 5: 「日本たばこ産業-三菱商事」スプレッド推移

(3) 期待収益最大化戦略

GGR 方式では，すべてのペアに対し一様な閾値を与えている．この節では，各ペアに対して期待収益の最大化を目的とした最適な閾値を与える．

オルンシュタイン・ウーレンベック過程（O-U 過程）は確率微分方程式の解を解析的に書くことができる確率過程の一つである．次の確率微分方程式で与えられる．

$$dX_t = \alpha(\mu - X_t)dt + \eta dB_t. \tag{2}$$

ただし，B_t はブラウン運動とし，$\alpha > 0$, $\mu \in \mathbb{R}$, $\eta > 0$ で，ドリフト係数は $\alpha(\mu - X_t)$ であり，拡散係数は η である．

Bertram[1] は，スプレッドがオルンシュタイン-ウーレンベック過程に従う時，期待収益という目的関数に対して最適な戦略を選択する問題を考察している．価格スプレッド P_t を次のように設定する．

$$P_t = e^{X_t}, X_{t_0} = x_0. \tag{3}$$

ただし，X_t は以下の確率微分方程式に従うとする．

$$dX_t = -\alpha X_t dt + \eta dB_t. \tag{4}$$

期待収益を最大化とする，閾値 a と m を考える ($a < 0 < m$)．[1] では，最適な閾値 a，m は，ゼロに関して対称（$m = -a$）である必要があると述べられており，期待収益を最大化する a の最適解は，

$$e^{\frac{\alpha a^2}{\eta^2}}(2a + c) - \eta\sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}Erfi\left(\frac{a\sqrt{\alpha}}{\eta}\right) = 0 \tag{5}$$

によって求められる．ただし，c は手数料である．$Erfi$ は虚数誤差関数であり，次のように定義される．

$$Efri(x) = iErf(ix) \tag{6}$$

$$= \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{t^2}dt. \tag{7}$$

(4) 期待効用最大化戦略

Jurek and Yang[3] の研究では，投資家が資本を平均回帰スプレッドと無リスク資産に投資することを考えている．有限の期間で，相対的リスク回避度一定効用関数下の戦略について考察している．

無リスク資産 S_t^0，平均回帰的なスプレッド X_t が以下のように与えられるとする．

$$dS_t^0 = rS_t^0 dt, \tag{8}$$

$$dX_t = \alpha(\bar{X} - X_t)dt + \eta dB_t. \tag{9}$$

ただし，r は無リスク金利，$\bar{X}$ は任意形成期間でのスプレッドの平均とする．

パラメータ $\bar{X}$,α,η は以下のように推定される．

$$\hat{\bar{X}} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_{t_i}, \tag{10}$$

$$\hat{\alpha} = -\frac{1}{\Delta t}\log\frac{\sum_{i=2}^{N}(X_{t_i} - \hat{\bar{X}})(X_{t_{i-1}} - \hat{\bar{X}}))}{\sum_{i=2}^{N}(X_{t_i} - \hat{\bar{X}})^2}, \tag{11}$$

$$\hat{\eta} = \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}}{e^{2\hat{\alpha}\Delta t} - 1}} \cdot \frac{1}{N-2} \tag{12}$$

$$\cdot \sum_{i=1}^{N}\left(\frac{X_{t_i} - \hat{\bar{X}} - e^{-\hat{\alpha}\Delta t}(X_{t_{i-1}} - \hat{\bar{X}})}{e^{-\hat{\alpha}\Delta t}}\right)^2. \tag{13}$$

富の過程 Y_t は

$$dY_t = [r(Y_t - N_t X_t) + \alpha(\bar{X} - X_t)N_t]dt + \eta N_t dB_t \tag{14}$$

である．ただし，N_t はスプレッドへの投資量を表す．

効用関数として，相対的リスク回避度一定効用関数を用いる．このとき，満期 T における割引富に関する期待効用最大化を考える．この時，価値関数 V_t は

$$V_t = \sup\ E_t\left[e^{-\beta(T-t)}\frac{Y_T^{1-\gamma}}{1-\gamma}\right] \tag{15}$$

である．β は時間選好率，γ は投資家のリスク回避度を表している．$\beta, \gamma > 0$ とする．

[3] において有限時間問題に対する保有枚数の最適なポートフォリオ戦略は

$$N(Y, X, \tau) = \begin{cases} (\frac{\alpha(\bar{X} - X) - rX}{\eta^2})Y, & (\gamma = 1), \\ (\frac{\alpha(\bar{X} - X) - rX}{\gamma\eta^2} + \frac{2A(\tau)X + B(\tau)}{\gamma})Y, & (\gamma \neq 1), \end{cases} \tag{16}$$

と与えられている．$\tau = T - t$，係数関数 $A(\tau)$，$B(\tau)$ の詳細は [3] を参照してください．

4. 数値実験の結果及び考察

(1) ペアの選定

GGR 方式 [2] に基づき形成期間を 2019 年の 12ヶ月間とし，日経平均株価構成銘柄 225 社に対して最短距離 (SSD) 上位 20 ペアの選定を行う．ここで，日次データの終値を使用する．実装環境は Google Colaboratory (Python) である．

表 1 は選定された上位 20 ペアを表している．

表 1: GGR 方式を用いたペアの選定 (2019)

ペア	距離
中部電力-東京ガス	0.1277
東海旅客鉄道-ＡＮＡホールディングス	0.1499
コンコルディア・フィナンシャル-三井住友トラスト・ホールディン	0.1649
日本たばこ産業-三菱商事	0.1846
パナソニック-丸紅	0.1900
ＡＮＡホールディングス-東京ガス	0.1995
みずほフィナンシャルグループ-ＡＮＡホールディングス	0.2027
住友化学-みずほフィナンシャルグループ	0.2028
住友化学-ＡＮＡホールディングス	0.2255
日本たばこ産業-東海旅客鉄道	0.2295
三菱電機-ファナック	0.2319
帝人-トヨタ自動車	0.2453
東海旅客鉄道-東京ガス	0.2470
住友電気工業-本田技研工業	0.2524
神戸製鋼所-ＪＦＥホールディングス	0.2548
三井化学-宇部興産	0.2586
大林組-清水建設	0.2679
コンコルディア・フィナンシャル-丸紅	0.2784
大林組-ＤＯＷＡホールディングス	0.2784
日本たばこ産業-ＡＮＡホールディングス	0.2798

(2) パラメータ設定が戦略に与える影響

(a) GGR 方式

2019 年の日経平均構成銘柄 225 社で形成したペアの中で距離が最も小さい 2 つのペア,「中部電力-東京ガス」「東海旅客鉄道-ＡＮＡホールディングス」を対象に，GGR 方式 [2] を用いたバックテストの結果は表 2, 3 である．

取引開始の閾値を 3 つのパターン（$\mu \pm 1.2\sigma, \mu \pm 1.5\sigma, \mu \pm 2\sigma$）で変化させ，テストを行った．スタートレベルが回帰水準に近ければ近いほど，取引回数が多くなる傾向がある．また，閾値の設定によって，リターンやリスクが大きく変化することがわかる．この結果から，異なる株（ペア）に一様な閾値を設定する GGR 方式の取引ルールでは，大きな収益に繋がる取引機会を逃す可能性があることがわかる．したがって，ペアの特徴によって閾値を変化させる必要があると考えられる．

(b) 期待収益最大化戦略

2019 年の日経平均株価構成銘柄 225 社で形成したペアの中で距離が最も小さい 2 つのペア,「中部電力-東京ガス」「東海旅客鉄道-ＡＮＡホールディングス」を対象に，期待収益最大化戦略 [1] を用いたバックテストの結果は表 4, 5 である．期待収益最大化戦略では，手数料 c が小さければ小さいほど，取引回数が多くなり，シャープレシオを向上される傾向がある．

表 2: GGR 方式を用いた「中部電力-東京ガス」ペアのバックテスト

閾値	取引回数	リターン	リスク	シャープレシオ
1.2σ	7	4.6794	3.6886	1.2686
1.5σ	5	4.6288	3.5905	1.2892
2σ	4	0.4111	0.1383	2.9733

表 3: GGR 方式を用いた「東海旅客鉄道-ＡＮＡホールディングス」ペアのバックテスト

閾値	取引回数	リターン	リスク	シャープレシオ
1.2σ	6	0.4505	0.2985	1.5093
1.5σ	5	0.4467	0.2780	1.6068
2σ	2	0.0678	0.1971	0.3440

表 4: 期待収益最大化戦略を用いた「中部電力-東京ガス」ペアのバックテスト

c(コスト)	取引回数	リターン	リスク	シャープレシオ
0.001	6	0.2090	0.1625	1.2867
0.005	4	0.2413	0.1891	1.2761
0.01	3	0.2413	0.2139	1.1278

表 5: 期待収益最大化戦略を用いた「東海旅客鉄道-ＡＮＡホールディングス」ペアのバックテスト

c(コスト)	取引回数	リターン	リスク	シャープレシオ
0.001	6	0.4239	0.2225	1.9052
0.005	3	0.3280	0.2609	1.2573
0.01	2	0.2786	0.1770	1.5737

(c) 期待効用最大化戦略

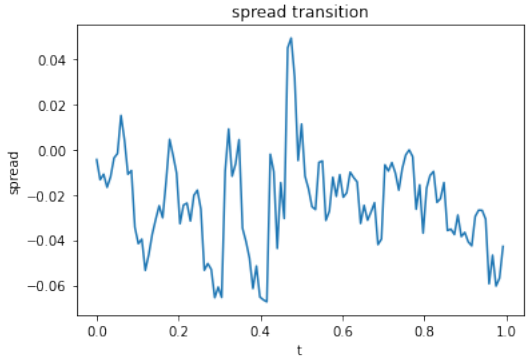
形成期間を 2019 年の 12ヶ月間，取引期間を 2020 年の上半期とし，取引期間に共和分関係を持つ「帝人-トヨタ自動車」ペアを対象に，期待効用最大化戦略においてペアが異なるリスク回避度 (γ) で，パフォーマンスがどのように変化するかについて調べる．

図 6(a) は「帝人-トヨタ自動車」のスプレッド推移，図 6(b), 6(c) はそれぞれ投資家のリスク回避度を 0.5, 1, 2, 10 と設定したとき，保有枚数の推移，富の過程を表している．

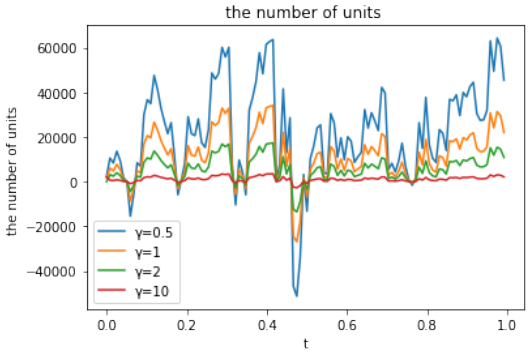
図 6(b) から，投資家のリスク回避度が低いとき，取引が積極的に行われたが，リスク回避度が高くなるとともに，保有枚数が減少していた．また，表 6 によって，リスク回避度の増大でシャープレシオが向上させるような傾向があったが，リスク回避度が低い時と比べてリターンとリスクも大きく変わっているため，戦略のパフォーマンスが向上されたとは言えない．

表 6: 異なるリスク回避度で「帝人-トヨタ自動車」のパフォーマンス ($r = 0.001$)

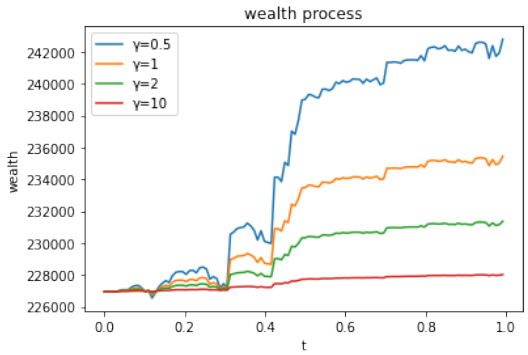
γ	リターン	リスク	シャープレシオ
0.5	0.0698	0.0290	2.4093
1	0.0374	0.0156	2.3984
2	0.0194	0.0079	2.4451
10	0.0047	0.0016	2.9154



(a) スプレッド推移



(b) 保有枚数の推移



(c) 富の過程

図 6: 異なるリスク回避度で「帝人-トヨタ自動車」のパフォーマンス ($r = 0.001$)

(3) 各戦略の取引結果

取引期間を 2020 年の上半期としたとき，各戦略でのペアごとの取引結果について述べる．

(a) GGR 方式 表 7 のように，GGR 方式（$\pm 2\sigma$ のとき）では，10 ペアが収益をあげ，9 ペアが損失を出した．また，取引機会がなかったペアが 1 つあった．

表 7: GGR 方式での取引結果

ペア	リターン	リスク	シャープレシオ
コンコルディア-丸紅	0.4780	0.2680	1.7836
住友化学-ＡＮＡ	0.0691	0.0424	1.6307
三井化学-宇部興産	0.2347	0.1632	1.4380
帝人-トヨタ自動車	0.1033	0.0905	1.1416
東海旅客鉄道-ＡＮＡ	0.2872	0.2618	1.0970
コンコルディア-三井住友トラスト	0.0148	0.0195	0.7587
大林組-ＤＯＷＡ	0.0888	0.1438	0.6176
ＡＮＡ-東京ガス	0.0762	0.2674	0.2848
日本たばこ産業-三菱商事	0.0412	0.1543	0.2668
日本たばこ産業-東海旅客鉄道	0.0014	0.0297	0.0476
大林組-清水建設	0	0	0
中部電力-東京ガス	-0.0331	0.2134	-0.1552
三菱電機-ファナック	-0.0119	0.0187	-0.6330
神戸製鋼所-ＪＦＥ	-0.0672	0.0770	-0.8730
パナソニック-丸紅	-0.0952	0.0772	-1.2338
みずほ-ＡＮＡ	-0.0244	0.0191	-1.2733
日本たばこ産業-ＡＮＡ	-0.2217	0.1647	-1.3456
東海旅客鉄道-東京ガス	-0.5395	0.3917	-1.3773
住友化学-みずほ	-0.2886	0.2082	-1.3859
住友電気工業-本田技研工業	-0.0582	0.0333	-1.7475
平均	0.0027	0.1322	-0.0479

(b) 期待収益最大化戦略 表 8 のように，期待収益最大化戦略では，14 ペアが収益を上げ，3 ペアが損失を出した．取引機会がなかったペアが 3 つあった．

表 8: 期待収益最大化戦略での取引結果 ($c = 0.001$)

ペア	リターン	リスク	シャープレシオ
大林組-清水建設	0.3751	0.1999	1.8764
ＡＮＡ-東京ガス	0.2269	0.1210	1.8757
住友電気工業-本田技研工業	0.0364	0.0209	1.7405
みずほ-ＡＮＡ	0.0090	0.0064	1.4072
中部電力-東京ガス	3.7799	3.1336	1.2063
三井化学-宇部興産	0.9002	0.8281	1.0870
住友化学-	3.6151	3.3413	1.0819
日本たばこ産業-東海旅客鉄道	0.6010	0.5871	1.0236
大林組-ＤＯＷＡ	1.6533	1.6370	1.0099
帝人-トヨタ自動車	0.0325	0.0324	1.0043
日本たばこ産業-三菱商事	0.1700	0.2356	0.7213
コンコルディア-丸紅	0.1812	0.2544	0.7122
コンコルディア-三井住友トラスト	0.0168	0.0263	0.6408
三菱電機-ファナック	0.0084	0.0486	0.1729
神戸製鋼所-ＪＦＥ	0	0	0
住友化学-みずほ	0	0	0
パナソニック-丸紅	0	0	0
東海旅客鉄道-ＡＮＡ	-0.0734	0.6067	-0.1210
日本たばこ産業-ＡＮＡ	-0.3497	0.7279	-0.4805
東海旅客鉄道-東京ガス	-0.2403	0.4921	-0.4883
平均	0.5471	0.6150	0.7235

(c) 期待効用最大化戦略 表 9 のように，期待効用最大化戦略（$\gamma = 1$ のとき）では，15 ペアが収益を上げ，5 ペアが損失を出した．

表 9: 期待効用最大化戦略での取引結果 ($\gamma = 1$)

ペア	リターン	リスク	シャープレシオ
帝人-トヨタ自動車	0.0374	0.0156	2.3984
大林組-ＤＯＷＡ	0.0363	0.0168	2.1543
大林組-清水建設	0.0094	0.0048	1.9447
コンコルディア-三井住友トラスト	0.0244	0.0161	1.5134
みずほ-ＡＮＡ	0.0665	0.0458	1.4525
日本たばこ産業-三菱商事	0.0279	0.0193	1.446
日本たばこ産業-東海旅客鉄道	0.0268	0.0201	1.3286
中部電力-東京ガス	0.0497	0.0389	1.2782
東海旅客鉄道-ＡＮＡ	0.0573	0.0513	1.1167
三井化学-宇部興産	0.0265	0.0251	1.0555
住友化学-ＡＮＡ	0.0655	0.0685	0.9562
三菱電機-ファナック	0.0524	0.0692	0.7572
日本たばこ産業-ＡＮＡ	0.0352	0.0508	0.6927
東海旅客鉄道-東京ガス	0.0149	0.0637	0.2335
住友化学-みずほ	0.0041	0.0347	0.1166
住友電気工業-本田技研工業	-0.0007	0.0504	-0.0146
コンコルディア-丸紅	-0.0005	0.0241	-0.0207
ＡＮＡ-東京ガス	-0.0042	0.1954	-0.0213
神戸製鋼所-ＪＦＥ	-0.0007	0.001	-0.7006
パナソニック-丸紅	-0.0864	0.0802	-1.0779
平均	0.0221	0.0446	0.8305

(4) 戦略の比較

ここでは，GGR 方式，期待収益最大化戦略，期待効用最大化戦略（$\gamma = 1$ のとき）の比較を行う．

2020 年上半期の取引期間において，市場変動の影響を受け，スプレッドの推移が過去水準から大きく離れることが存在したが，GGR 方式では，選定された 20 ペアのうち半数のペアが収益を上げることができている．そして期待収益最大化戦略は最適な閾値を図ることで，リターンの平均は GGR 方式での 0.0027 から 0.5471 まで向上できた．また，20 ペアのリターン，リスクの平均を比較した結果，期待収益最大化戦略にはハイリスク・ハイリターンの傾向があり，期待効用最大化戦略にはローリスク・ローリターンの傾向があった．激しく変動していた市場において，連続的に保有枚数を調整し，損失をヘッジできた一方，大きな利益に繋がらなかった．しかし，シャープレシオで比べるとローリスク，ローリターンであった連続取引の期待効用最大化が優る部分（13 ペア）が多くなる．GGR 方式と期待収益最大化戦略で比較すると，期待収益最大化戦略の方が良くなっている．実際，GGR 方式では 13 ペアでシャープレシオが最下位となっている．

(5) 共和分関係が戦略パフォーマンスに与える影響

表 10 では，2019 年における日経平均株価構成銘柄 225 社のデータを用い，GGR 方式で選定されたペアの共和分関係の検定結果を示している．GGR 方式を用いたペア選定では，共和分関係が考慮されていないが，本実験の形成期間において，選定されたペアの半数で共和分関係が成り立っていた．3 つのペアトレード戦略とも，共和分関係を持っていたペアの方が良いパフォーマンスをしていた．そして，形成期間に共和分関係を持ったが，損失を出したペアも存在した．原因の一つは，取引期間に共和分関係が持続していなくスプレッドが過去水準から発散したため，平均回帰性を求める戦略のパフォーマンスも劣化したと考えられる．この結果によって，共和分関係の有無・持続性は，ペアトレード戦略において重要な基準だと考えられる．

また，ペアの共和分関係が，新型コロナウイルス感染症拡大の間にどのように変化したかについても調べた．その結果，比較的に日経平均株価が安定していた時期 (2018 年 1 月から 2019 年 6 月まで) と比べ，形成期間から取引期間まで共和分関係が持続するペアが減少した．

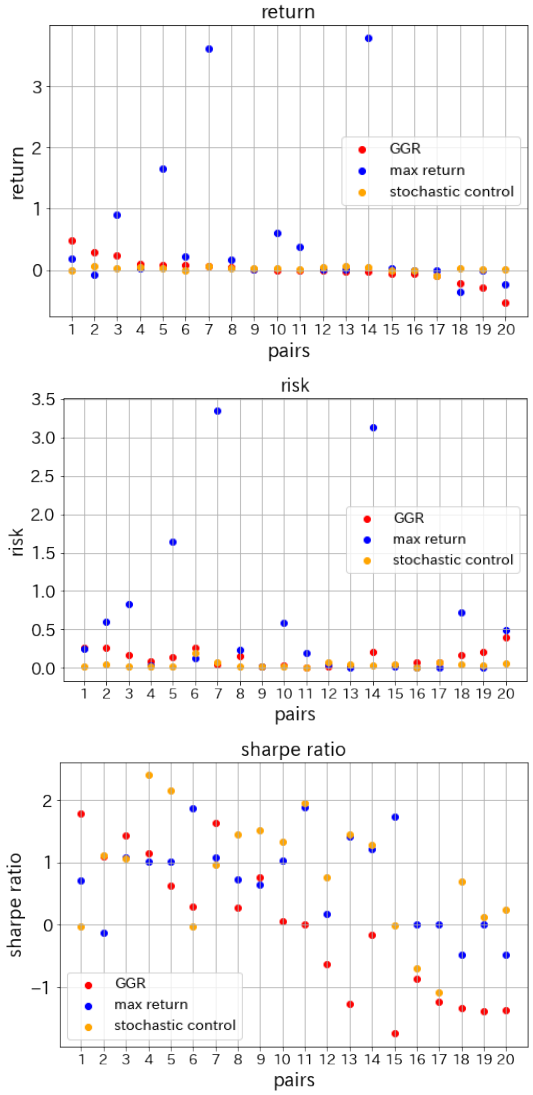


図 7: 各戦略の比較

以上の結果から，市場の変動が激しいパンデミック時において，戦略のパフォーマンスを維持するため，ペアの共和分関係を随時観測し，ペアの選定と戦略の再構築期間を考慮する必要があると考えられる．

5. まとめ

本研究では，パンデミック時におけるペアトレード戦略の有効性について調べた．ペアトレード戦略は，COVID-19 の影響を受けた値動きの激しい市場でも，収益を上げることが可能であることがわかった．離散型戦略では，閾値を最適化することで，パフォーマンスを改善することができた．また，ペアトレード戦略では，共和分関係を持つペアの方が比較的に良いパフォーマンスになることがわかった．

表 10: 2019 年データで選定されたペアの共和分性検定

		シャープレシオ			共和分性	
	ペア	GGR 方式	期待収益最大化戦略	期待効用最大化戦略	形成期間	取引期間
1	コンコルディア・フィナンシャル-丸紅	1.7836	0.7122	-0.0207	○	
2	住友化学-ＡＮＡホールディングス	1.6307	1.0819	0.9562	○	
3	三井化学-宇部興産	1.4380	1.0870	1.0555	○	
4	帝人-トヨタ自動車	1.1416	1.0043	2.3984		○
5	東海旅客鉄道-ＡＮＡホールディングス	1.0970	-0.1210	1.1167	○	
6	コンコルディア・フィナンシャル-三井住友トラスト・ホールディン	0.7587	0.6408	1.5134		
7	大林組-ＤＯＷＡホールディングス	0.6176	1.0099	2.1543	○	○
8	ＡＮＡホールディングス-東京ガス	0.2848	1.8757	-0.0213	○	
9	日本たばこ産業-三菱商事	0.2668	0.7213	1.446	○	
10	日本たばこ産業-東海旅客鉄道	0.0476	1.0236	1.3286		
11	大林組-清水建設	0	1.8764	1.9447		
12	中部電力-東京ガス	-0.1552	1.2063	1.2782	○	
13	三菱電機-ファナック	-0.6330	0.1729	0.7572	○	
14	神戸製鋼所-ＪＦＥホールディングス	-0.8730	0	-0.7006		
15	パナソニック-丸紅	-1.2338	0	-1.0779	○	
16	みずほフィナンシャルグループ-ＡＮＡホールディングス	-1.2733	1.4072	1.4525		
17	日本たばこ産業-ＡＮＡホールディングス	-1.3456	-0.4805	0.6927		
18	東海旅客鉄道-東京ガス	-1.3773	-0.4883	0.2335		
19	住友化学-みずほフィナンシャルグループ	-1.3859	0	0.1166		
20	住友電気工業-本田技研工業	-1.7475	1.7405	-0.0146		

6. 今後の課題

共和分関係を基準としたペアの選定と最適な再構築期間について調べる．また，連続型戦略では動的な取引が行われ，取引コストが大きくなるため，取引コストを考慮したペアトレード戦略と比較していく必要がある．

謝辞：長い間に温かく見守り，沢山のご指導を賜った指導教員の安田和弘准教授に厚く御礼を申し上げ，感謝の意を表します．ご助言を賜った副査の中村洋一教授に深謝申し上げます．最後に数理ファイナンス研究室の皆様に感謝いたします．

参考文献

1) W. K. Bertram: Analytic solutions for optimal statistical arbitrage trading, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(11), pp. 2234-2243, 2010.
2) E. Gatev, W. N. Goetzmann, and K. G. Rouwenhorst: Pairs Trading: Performance of a Relative-value Arbitrage Rule, *Review of Financial Studies*, 19(3), pp. 797-827, 2006.
3) J. W. Jurek, and H. Yang: Dynamic Portfolio Selection in Arbitrage, *Working paper*, http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.882536, 2007.
4) G. Vidyamurthy: *Pairs Trading: Quantitative Methods and Analysis*, John Wiley & Sons, 2004.