

## 脳情報を利用した自律的投資システムの開発 ～人工市場実験による検証～

仲里 慎司† 宮川 和夫† 下川 哲矢‡

東京理科大学 経営学研究科† 東京理科大学 経営学部ビジネスエコノミクス学科‡

### 1. 本研究の位置づけ

金融理論の基本的な考え方の1つである「効率市場仮説」は、証券価格はすでに利用可能なすべての情報を反映して合理的に決定されていることを前提としており、したがって将来の市場価格は予測不可能となることを主張する (Fama, Nobel Prize Lecture, 2013). しかしながら、80年代以降の金融統計技術の発展と使用可能データの拡大は、この考え方に対するいくつかの反例を報告している。特に近年、高頻度データの利用が可能になったことによって、証券価格の予測可能性問題は再び活発な議論の中心となっている。

人々の限定合理性を、このような市場の予測可能性の源泉とする一群の研究がある。これらの研究はしばしば行動経済学や神経経済学と呼ばれるが、そこでは、市場変化が人々の認知過程にどのように影響を与えられるかが注目され、行動心理学的な手法や神経科学的な方法論を用いた分析が行われる。たとえば、Lo and Repin[2002]では、投資活動においては、熟練のトレーダーとそうでないトレーダー、つまり経験の有無によって市場のどの情報に反応するかが大きく異なることが、生体情報の観点から検討されており、Lohrenz et al[2007]やShimokawa et al[2009], Miyagawa et al[2011]では、fictive error (ある種の「後悔」に対応する)が意思決定予測において有効なファクターとなりうることを、やはり脳情報の観点から報告している。

これらの研究を受けて、Shimokawa et al[2012]では実用に向けての脳情報の活用可能性を探っている。具体的には、複数人のトレーダーの脳情報の中から有効なものを選択的に利用することで、投資効率を向上させるような自律的投資システムが提案されている。そこでは、トレーダーの心理状況や市場の雰囲気といった、

量化データが得られない要因の代理変数として脳情報の活用が検討されている (この研究を含む脳情報活用については, Kopton and Kenning[2014]に詳しい)。

しかしながら、この研究には2つの不足があると思われる。まず一つは、市場における価格形成が内生化されていない点である。ほとんどの先行研究における実験では、現実の市場で形成された価格データがトレーダー役の被験者に提示されるのみであった。すなわち市場価格はトレーダーの意思決定とは全く独立に外生的に与えられている。しかしながらトレーダーの心理や認知バイアスが、脳情報を通じて予測できるとするのであれば、当然システムの有効性評価はトレーダーの行動の結果形成される市場価格に基づくべきである。二つ目の欠点は、予測精度の問題である。当該研究では3層のニューラルネットを階層ベイズ推定したものが用いられ、脳情報の選択利用の有効性が示唆されているが、その後急速に発展したDeep Neural Network (DNN)に置き換えることで、価格の予測精度や自律的投資システムの効率性を、さらに向上させることが期待できる。

### 2. 実験システム

上記の2点を検討するために、本研究では、価格形成を内生的に決定するような人工市場型の実験システムを制作し、複数人(4人)のトレーダーの連続投資課題中の脳情報(背外側前頭前野部と眼窩部における血中酸化ヘモグロビン濃度変化)を同時計測した。図1が今回制作した実験システムの全容である。

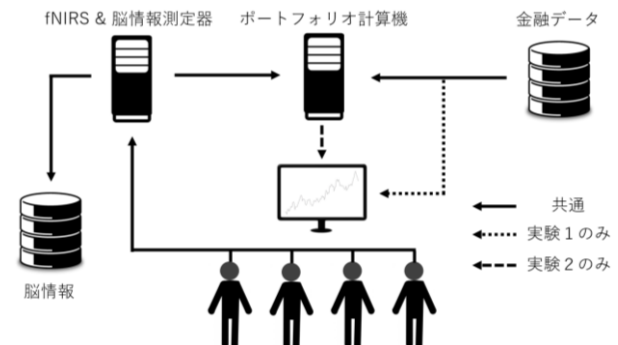


図1: 実験システム

実験課題は連続投資課題 (Lohrenz et

Autonomic investment system improved by selective use of brain information: A verification in artificial market

†Shinji Nakazato, Kazuhiro Miyagawa · Graduates School of Management, Tokyo University of Science

‡Tetsuya Shimokawa · School of Management, Tokyo University of Science

al[2007], Shimokawa et al[2012]) である. 実験開始と同時に、GUI に株価を提示し、0.8 秒ごとに変化させた. その時の各被験者の該当部位の血中ヘモグロビン濃度変化を、Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) を使用し同時測定をした. これら一連の流れを 1 つの実験毎に 100 期間行った. 実験 1 では取得した脳情報と過去の株価データを基に将来の株価の予測を行えるかを検証した. そして実験 2 ではインタラクティブな学習が可能な人工市場環境を構築し、その状況での株価の予測が可能かどうかを検証した. これらの実験は計 20 セッション実施され、東京理科大学の学生を中心に 80 人を対象に行われた.

### 3. 分析手法

まず、取得した脳情報と株価データ 100 期間のデータのうち 1~80 期間を学習データとし、残りの 20 期間を予測用のテストデータとして使用し、DNN による分析を行った. 入力データは前期 S&P500, TOPIX, 米ドル/円の為替レート, 背外側前頭前野と眼高野の血中ヘモグロビン濃度と、2 期前から 1 期前の株価の変化額を利用した. 出力データは 1~80 期間の株価の変化率を 5 分割し、そのいずれのグループに含まれるかを分類する 5 値データである. 隠れユニットは 100, 120, 100 の 3 層型で、出力層がソフトマックス関数となっている積層型の Neural Network を使用した. この分析は実験 1・2 共通である.

### 4. 分析結果

DNN による分析は各実験のデータごとに、実験で使用した 4 つの株それぞれについて個別に行った. 表 1 は実験 1 における予測精度を示す. 予測精度は実際の収益率とモデルが予測する収益率との二乗誤差の期間平均値である. DNN を用いる際に考慮しなければならない点の一つは過学習の有無であろう. この点を加味するために、交差検証結果を示す.

Session1	69.4	Session11	174.2
Session2	93.7	Session12	174.2
Session3	173.6	Session13	174.2
Session4	161.8	Session14	-141.1
Session5	69.4	Session15	-141.1
Session6	122.4	Session16	69.4
Session7	93.6	Session17	122.4
Session8	173.5	Session18	93.6
Session9	-4.4	Session19	169.3
Session10	173.6	Session20	93.8

表 1 : DNN による改善(basis point)

この表が示すように、学習データにおける脳情

報による価格予測の改善率は平均して 95.8basis point となっており、先行研究での ARMA-GARCH model からの改善率が平均で 33basis point であったこと考慮すれば大幅な改善であると言える. 図 2 は代表的な株価変動について、横軸が期間、縦軸が実際の株価の変化率との予測した変化率との差分を示したものである. 黒い直線に近ければ近いほど予測の精度が高いことを示す.

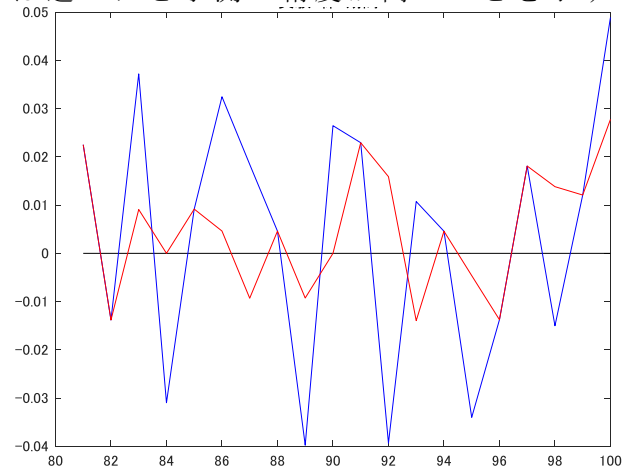


図 2 : DNN による学習から導かれた株価の変化率の予測精度 (赤線: 脳情報ありでの予測値と観測値との差分, 青線: 脳情報なしでの予測値と観測値との差分)

これらの予測精度の上昇は、脳情報が市場における雰囲気や、経験からの直観、あるいは様々な意思決定バイアスの代理変数として、何らかの情報を持つことを示唆している. 実際、株価を内生化し、より実際の株式市場の形式に近づけた実験 2 に関しても、今回の実験データに関する限り、脳情報の利用が将来の株価の予測に有効に働くことを確認している. しかしながら確定的な結論を得るためには、より大規模な人工市場の構築とデータの蓄積、検証が必要であると思われる. 市場規模によって、人々の行動が変化すると予測されるからである.

#### [主要参考文献]

- [1] A. Lo, D. Repin, The psychophysiology of real-time financial risk processing, *Journal of Cognitive Neuroscience* 14 (2002) 323-339.
- [2] T. Shimokawa, K. Kinoshita, K. Miyagawa, and T. Misawa(2012). A brain information-aided intelligent investment system. *Decis. Support Syst.* 54, 336- 344.
- [3] I. M. Kopton and P. Kenning(2014). Near-infrared spectroscopy (NIRS) as a new tool for neuroeconomic research. *Frontiers in Human Neuroscience* Volume 8, 1-13.