

令和 3 年 5 月 20 日現在

機関番号：27101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01267

研究課題名（和文）深層学習による金融市場の分析-株式市場の感情抽出と金融政策-

研究課題名（英文）Financial Market Analysis with Deep Learning -Stock market emotion extraction and monetary policy-

研究代表者

池田 欽一（Ikeda, Yoshikazu）

北九州市立大学・経済学部・教授

研究者番号：10334880

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：画像を入力し、その特徴量を抽出し、カテゴリ予測などに応用されている畳み込みニューラルネットワークを用いた株価の変動予測について、株価から作成されるグラフであるローソク足チャートと出来高のグラフによりランダムな予測の精度である50%に対して、十分制度が高い予測が可能であることを示した。さらに、1つの畳み込みニューラルネットワークモデルによる予測のみでなく、複数モデルの多数決であるアンサンブルを取り入れ、単独モデルによる予測と比較し精度の向上がみられることを示した。多数決が有効に働くために、各予測器に多様性を持たせる方法を提案した。これら多数決は市場の感情の1つであることとらえることもできる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金融市場などを発端とする金融インパクトは金融市場の不安定さをもたらし、実体経済へも多大なる影響を与えることとなるので、これら変動を予測し、抑制することは安定した経済発展にとって重要な課題であると考えられる。

本研究では、機械学習の手法を用い、金融市場変動における価格変動予測や多数の市場の多数の参加者の多様性（これは雰囲気（強気、弱気）など感情に類似のものにとらえることもできる）を再現し、一種の市場参加者の感情推定を可能にすることを示すことができたと考えられる。

研究成果の概要（英文）： We have shown that the convolutional neural network, which has been applied to category prediction by extracting features from images, can predict stock price fluctuations with a high enough accuracy compared to the random prediction accuracy of 50%.

In addition, it was shown that the accuracy of the prediction was improved compared to the prediction by a single model by adopting an ensemble, which is a majority vote of multiple models, instead of a single convolutional neural network model. In order for the majority voting to work effectively, we proposed a method of adding diversity to each predictor. These majority decisions can be seen as one of the emotions of the market.

研究分野：複雑系経済学

キーワード：株価変動予測 畳み込みニューラルネットワーク ディープラーニング 株価ローソク足チャート 出来高グラフ アンサンブル学習

1. 研究開始当初の背景

リーマンショック、ギリシャ経済危機や中国の経済リスクなど金融市場などを発端とする金融インパクトは全世界において株式や為替など金融市場の不安定さをもたらし、实体经济へも多大なる影響を与えることとなる。各国政府の金融安定化方策が意図された方向と逆の効果を与えるなどの状況も発生している。これら変動を予測し、抑制することは安定した経済発展にとって重要な課題であると考えられる。ところが、株式市場一つを考えてみても、その価格形成メカニズムは複雑で未だ不明であるし、取引高などの予測も困難を極める。我々は金融市場における価格形成についての知見はまだ緒についたばかりと言える。

これまでの経済、金融分野の研究では、伝統的に合理的な経済人を考え、その合理的な行動の帰結として、価格形成等を考察するというのが一般的であった。しかしながら、現実の経済では、合理的な経済人だけでなく、非合理的な経済人も多数存在する。昨今、膨大なデータ群(ビッグデータ)の中から、パターンを抽出したり、価格形成そのものを学習したりする手法、いわゆる機械学習が急速な発展を遂げてきている。

本研究では、機械学習の手法を用い、金融市場の価格変動の特徴、参加投資家の感情、株価のリスクに対する対価であるリスクプレミアムの推定、また、それらの抽出結果を用いた投資行動のモデル化と金融政策の効果予測を行うことを目的として開始した。これらのモデル化には、音声、画像認識、自然言語処理などに応用されている深層学習を主に用いる。深層学習は教師なしのデータより概念(多数画像からネコであるという概念など)を獲得できることが示されており、金融市場変動における暴落、暴騰の際の価格変動や市場の多数の参加者により形成される雰囲気(強気、弱気)などの概念を特徴として捉えられると考えていた。

2. 研究の目的

本研究では、深層学習による金融市場に関する次の分析を行うことを目的として開始した。主要な分析は 1. 為替や株価変動、および 2. マクロ経済指標と金融市場の関係分析と、これに関連した CAPM を用いた平均株価と個別銘柄の価格形成の関係の推定とする。また、これらを総合的に用いた金融政策評価のためのモデル開発も目的の一つであった。

1. の株価特徴分析では深層学習へ株価変動を 2 次元の画像データとして与えることにより、中間層では特徴を 2 次元的に抽出することができ、従来の時系列を数値として与える方法に比べさらなる特徴抽出効果が期待される。これにより時系列を深層学習で分析する新たな手法を提案し、従来手法の時系列の値を直接数値として与える方法との比較分析を実施する。さらに、市場のムード(強気、弱気)という特徴の抽出が可能となるようモデルを構築していくことも目的であった。

用いるデータとして、ビッグデータを用い金融価格の特徴抽出を行うことを中心に実施する。通常の時系列分析とことなり変動を画像として与えることにより金融市場参加者の心理的状态を特徴として捉えられる可能性があり、その心理的要因などの伝達(ムード)によりバブルなど急激な価格変動が形成される現象のメカニズムの分析、および市場に対する政策の変更が結果(価格変動)へ与える影響(制御)について分析することとしていた。

2. マクロ経済指標と金融市場の関係のパターン認識では、利子率(株式投資が銀行預金に比べどの程度見返りが期待できるかの指標)、GDP 速報値(景気動向を表す指標)、日経平均株価(経済の平均的動向を表す指標)などと、個別銘柄(各企業の株価)の関係性を深層学習により明らかにしていくことが目標であった。本研究では上記のような仮定を必要としないリストと対価の関係性を深層学習をはじめとする機械学習の手法により明らかとすることが目的であった。

3. 研究の方法

まずは既存の深層学習システムを用い予備実験により金融分野への深層学習の適用可能性についてまとめ、これをもとに株価変動の裏に隠された参加者の感情、関連指標と株価の関係について分析を進め、金融政策分析のためシステムへと段階的に研究を進めていく。これら応用段階ではモデルに適したシステムを開発していくが、汎用性、拡張性を持ったツールとなるように開発を進めた。

金融市場、なかでも、株式市場に的を絞って、その価格形成と、取引数量の予測モデルの構築を目指し、まず、個別銘柄の株価の変動パターンを画像としてディープビリーフネットの入力層に与え、中間層に特徴を抽出し、これを株価予測に用いることができないか検討した。

従来、株価の予測は時系列的なアプローチが主流であったが、必ずしも満足の得られる結果は得られていない。そこで、我々は、実際の熟練したトレーダーの判断 - 彼らは、チャート情報をしばしば直感的に利用している - を深層学習によって学習できるという観点に立って研究を進めた。

次に、個別銘柄の株価に、マクロ経済指標があたえる影響を深層学習によって探っていく研究を進めた。周知のように、マクロ的な経済変数、たとえば、利子率、GDP 速報値、日経平均株価

などは個別銘柄の株価に大きな影響を与える。そこで、入力側に日経平均、利子率、GDP 速報値などのマクロ変数を配置し、出力側に個別銘柄の価格情報、出来高情報を設定する DNN モデルを考える。個別銘柄の動向はその銘柄特有の情報によっても影響を受けるが、マクロ的な動き、すなわち、金利動向、日経平均の変動から乖離することはまれである。しかし、当初想定していたような予測性は得られず、上記の画像を用いた予測システムを中心とし、その入力画像の多元化を導入し、その複数画像による予測手法の精度が向上するシステム提案などを進めた。

また、これら研究成果を統合することによって、政策当局の行動が市場にどのような影響を与えるのかを詳細に探求し、政策当局による市場のコントロールの可能性を探ることを計画していたが、これを実現するためには多数の計算リソースが必要となるが、本研究では実際の株式市場に十分な類似性を持つ株価仮想市場の構築は困難であることが分かり、計画を変更し、複数の予測モデルを構築し、その多数決モデルを採用することにより、市場の感情の方向性を推定するシステムについての研究を進めた。

4. 研究成果

初年度は、金融市場の中でも株式市場に的を絞って深層学習の適用可能性の検証を目標とし、データ収集、分析モデルの構築、これまでの研究で開発してきた既存シミュレーションシステムのモデルに合わせた改変、およびシミュレーションによる検証を中心に進めてきた。

具体的には、取引ごと、および、1分ごと（1分足）の個別銘柄の株価、1日ごと（日足）の様々な市場関連情報を収集データとして準備し、株式市場の予測対象として、複数のモデルを取り扱った。

1つめのモデルとしては、1分ごと（1分足）の取引価格情報の始値、終値、高値、安値、およびそれらを加工した個別銘柄の価格情報時系列をネットワーク入力とし、時系列の数値をそのまま入力したケースと2次元画像へ加工したケースでの1分先、3分先の株価の変動（上下）の予測結果についてケースごとに比較し、予測率は最も良い結果で55%ほどであったが、画像化したケースの方が安定的にランダムな予測の50%を超えることが確認できた。2つ目のモデルでは個別銘柄の日足の価格情報、日経平均株価、業界平均株価、ダウ平均、金利など様々な市場関連情報を入力するモデルについて分析を進めている。このモデルでは現在のところ時系列をそのまま入力とするケースのみ実施しているが、今後これら情報の画像化方法について検証を進めることとしている。

各モデルについてはそれぞれシステム構成、およびネットワークに用いるユニット数、学習定数など様々なパラメータを調整する必要があるが、経済、金融データは自然現象や物理現象と違い、サンプル数が比較的少なかったり、ノイズを含んでいたりという傾向があるため、経済、金融データを扱う際の適切な設定方法についても検証を進めた。

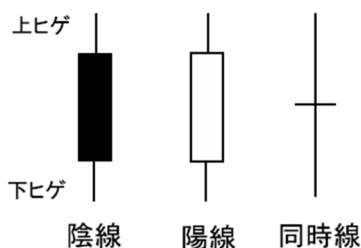


図 1 ローソク足



図 2 ローソク足チャート

2018 度は、ディープラーニングの中でも画像認識への応用がされている畳み込みニューラルネットワーク（CNN, Convolutional Neural Network）による株価の変動（上がる、下がる）予測を中心に研究を進めた。

具体的には、1分ごとの株価の始値、終値、安値、高値から作成される図1のようなローソク足を20分間分並べた図2のようなローソク足チャートをシステムへの入力画像とし、CNNにより特徴的な部分を抽出し、1分から5分後の変動の予測を出力することとした。

T_{pred}	1	2	3	4	5
train acc	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
test acc	0.49	0.57	0.61	0.63	0.63
profit	-60	2795	5825	7726	8801
Rate of profit	-5.9%	91.5%	190.6%	189.6%	172.8%

表 1 予測先時間による予測結果の違い

シミュレーションによる検証として、2017年8月1日から2018年1月26日の日経平均株価からおよそ3万画像を作成し、その90%をシステムの最適化に用い、10%は最適化には用いず、検証用データとして、未知のデータへの適用可能性の確認に用いた。その結果、表1に示しているように、1分後の予測はランダムに予測した50%と同じ予測水準で、予測は困難であったが、2分から5分の予測精度はおよそ60%の正解率となり、収益率は、取引の手数料がかからないとすると、200%弱という結果となり、ランダムな取引と比較するとよい結果となった。これは、実際の株式売買では、人間のトレーダー、あるいは、機械的に状況を判断するシステムによる売買により、株価の変動が実現されるが、短期的な売買では、株価の変動を主たる判断材料としていることが考えられ、変動情報をより多く含んだローソク足チャートによる変動方向の予測がある程度可能であることが示唆されていると考えられる。

上記に関連し、株価からローソク足チャートの画像を作成するシステム、画像サイズを変更しCNNへの入力しやすい形式へ変更するシステムなどの開発も行った。また、上記システムの他、個別銘柄の変動を各種経済指標、業種平均などにより数値的に予測する研究も平行して実施した。

2019年度は、前年度に実施した畳み込みニューラルネットワーク(CNN, Convolutional Neural Network)による株価の変動(上がる、下がる)予測において、入力情報の多重化による予測精度向上についての分析を中心に研究を進めた。

具体的には、前年度システムでは、1分ごとの株価の始値、終値、安値、高値から作成されるローソク足チャートをシステムへの入力画像とし、1分から5分先の株価変動予測を行ったが、この入力情報に株価の変動に対する先行性が指摘されている出来高、つまり取引数量の情報をグラフ化した画像を用いたシステムの予測精度分析を実施した。出来高のグラフの例を図3に示している。

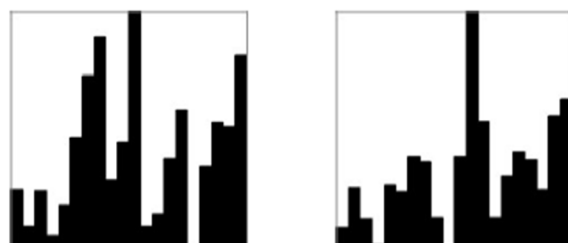


図3 出来高グラフの例

シミュレーションによる検証として、前年度と同様に2017年8月1日から2018年1月26日の情報を用いたが、株価ローソク図のみでなく、出来高グラフについてもおよそ3万画像を作成し、その90%をシステムの最適化に用い、残り10%を検証用データとして、未知のデータへの適用可能性の確認に用いた。

T_{pred}	1	2	3	4	5
train acc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
test acc	0.49	0.52	0.58	0.61	0.62
profit	224	1,721	4,796	7,771	7,910
Rate of profit	22.0%	84.5%	157.0%	190.7%	155.3%

表2 出来高グラフによる予測

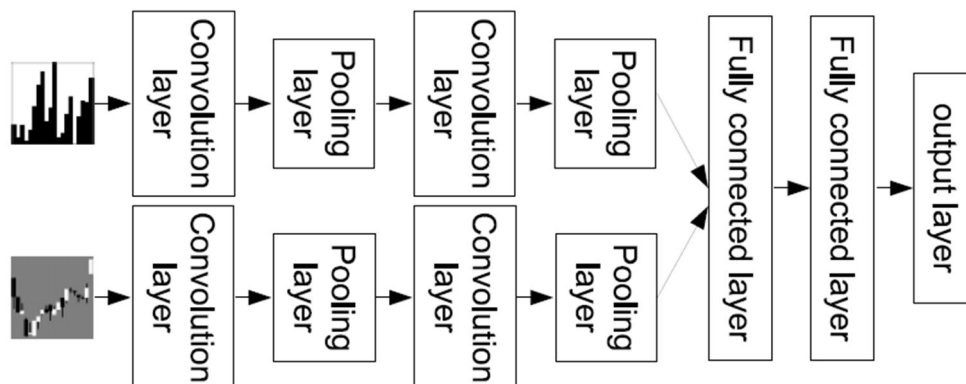


図4 入力画像ごとに特徴計算を用いるシステム

その結果、表 2 に示すように、出来高グラフのみであっても、2 分から 5 分後の株価の上がり、下がりの変動の予測精度はおよそ 60% 弱の正解率となり、株価ローソク図による予測よりは若干精度が低下したものの、ランダムな取引のベースライン 50% と比較するとある程度の予測が可能となった。これにより、株価と出来高に一定の相関関係があるということが確認できる。

さらに、株価と出来高の両方の情報を多重化した入力を CNN 入力に用い、株価や出来高情報を単独で用いた場合との予測精度の比較分析を行った。複数の画像入力を用いる際に利用されるような一般的に用いられる手法である複数チャンネルとして複数画像を用いるシステムにより、予測で最大 3% 程度予測精度の向上がみられることを示したが、図 4 に示すように入力画像の畳み込みやプーリングを入力画像ごとにそれぞれ用い、入力データを統合するタイミングを遅らせたシステムを用いることにより単独画像のシステムよりも、予測先時間の違いにより 3% から 5% 程度、予測精度向上されることを示した。これらの結果より、出来高グラフとローソク図チャートという複数画像による予測精度が向上すること、およびかなり特徴の違う画像入力については、データの統合タイミングを遅らせることにより、それぞれの画像に含まれる情報を有効に取り出すことができることを示した。

最終年度である 2020 年度は、前年度から引き続き畳み込みニューラルネットワーク (CNN, Convolutional Neural Network) による株価の変動 (上がる、下がる) 予測での予測精度向上についての分析を中心に研究を進めた。これまでは、1 つの畳み込みニューラルネットワークモデ

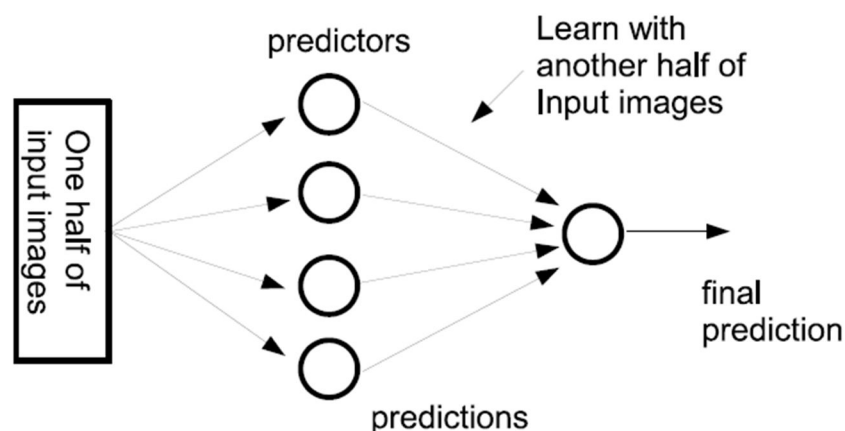


図 5 スタッキングの例

ルによる予測を行ってきたが、今年度は複数モデルの多数決であるアンサンブルを取り入れ、予測精度の向上が得られた。アンサンブル学習とは、多数の予測器を準備し、その予測の多数決により最終的な予測を決定するモデルである。多数決が有効に働くには、1 つ 1 つの予測器がある程度の予測能力を持ち、さらに各予測器に多様性がある、つまり、予測の誤りや正解にばらつきがあることが重要である。

本研究では、これまで 1 分ごとの株価の始値、終値、安値、高値から作成されるローソク足チャートや出来高のグラフを用いて、1 分から 5 分先の株価変動予測を行ったが、チャートやグラフ作成に用いる時間間隔を 20 分、30 分の 2 ケースに増加し、さらに各モデルの予測の多様性を確保するために、ドロップアウト率を 3 ケース、学習の際のサブデータセットをバギングを用い 3 ケース準備し、計 36 モデルを作成した。これらモデルの予測の多様性 (同じ観測値について正誤のばらつき) を確認し、これら予測器の多数決による予測決定をすることにより、単独のモデルよりも予測精度が向上することを検証するシミュレーションによる検証では、単独モデルによる、およそ 67% の正解率から単純な多数決で 70.7%、さらに図 5 に示したような予測モデルの予測出力の集計方法を学習するスタッキングを用いた soft vote により 71.6% へ予測精度が向上することを示した。

さらに、これまでの知見を基に、計量経済学への機械学習の適用効果についての分析についてまとめ、学会報告を行った。また、上記の分析に加え、多数の予測モデルによる仮想市場、およびその仮想市場による政策パラメータによる価格形成への影響についても分析を進めたが、計算機リソースの不足により、現実の株価変動に類似するような価格変動パターンを再現することができず、今後も研究を継続していきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 池田 欽一	4. 巻 56
2. 論文標題 ディープラーニング株価予測のアンサンブル学習による精度向上についての分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 北九州市立大学商経論集	6. 最初と最後の頁 15-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 池田 欽一	4. 巻 55
2. 論文標題 ディープラーニングによる株価予測の入力情報の多重化による予測精度向上についての分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 北九州市立大学商経論集	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 大野 裕之、林田 実、安岡 匡也	4. 巻 107
2. 論文標題 少額投資非課税制度（NISA）の計量経済学分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 証券経済研究	6. 最初と最後の頁 33-46
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 池田 欽一	4. 巻 54
2. 論文標題 株価ローソク足チャート画像を用いた畳み込みニューラルネットワークによる株価変動予測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 北九州市立大学商経論集	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 林田 実
2. 発表標題 計量経済学における機械学習による処置効果分析
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林田 実
2. 発表標題 相続税・贈与税と株式投資
3. 学会等名 日本応用経済学
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林田 実（北九州市立大学）、池田 欽一（北九州市立大学）
2. 発表標題 深層学習による家計のポートフォリオ予測
3. 学会等名 経済統計学会 第61回（2017年度）全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林田 実（北九州市立大学）、池田 欽一（北九州市立大学）
2. 発表標題 機械学習と計量経済学
3. 学会等名 2017年度日本応用経済学会春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田 欽一（北九州市立大学）、林田 実（北九州市立大学）
2. 発表標題 ディープラーニングの経済分野への応用の可能性
3. 学会等名 日本OR学会九州支部 平成29年度 第3回講演会・研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	林田 実 (Hayashida Minoru) (20198873)	北九州市立大学・経済学部・教授 (27101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------