

論文の内容の要旨

論文題目 金融市場の予測モデルにおける
ヒトの認知限界と深層学習に関する研究

氏名 田村 浩一郎

金融市場における価格形成は多様な因子が相互に影響しあう複雑な現象の結果であり、予測の可能性やモデリングの手法に関して、学術的にも実務的にも関心を集めてきた。金融市場は複雑であるが故に、既存の金融経済学では、複雑な事象をヒトが理解できるように単純化するため、いくつかの前提仮説を導入し、特定の切り口で理論化を進めてきた。

効率的市場仮説は、「全ての情報がすでに株価に織り込まれている」という金融経済学において重要な仮説である。実際には、アノマリーの存在や、投資家は限定合理性の中で意思決定を行うために、市場全体の合理性が成り立たないという指摘がなされている。効率的市場仮説が常に成立することはなければ、金融市場を予測することで、市場平均を上回る期待収益 α を追求することも可能になる。

しかし、金融市場の予測は本来的に難しい。「効率的市場仮説が常に成立することはない」としても、基本的には市場は効率的で、十分に多くの投資家は瞬時に株価やニュースなどの情報を得ることができる。また、金融市場は非定常的である。例えアノマリーを発見して予測モデルを構築し、一時的に収益を得ることはできても、安定的な収益を得られるモデルを構築することは困難である。

本研究では、複雑な金融市場をヒトが理解できるよう単純化するために導入された、既存の金融理論の前提仮説や特定の切り口に対して、予測可能性を見出す。ヒトは数千、数万ある金融商品の価格を瞬時に認識することはできず、常時情報処理を行うこともできない。ヒトの認知処理限界を理由に単純化されていた既存の金融理論の手法を拡張することができれば、より精緻な予測が可能になると仮説を立てることができる。

深層学習は、従来の特徴量抽出器・分類器よりも優れた性能を発揮し、特に学習過程で隠れ層において入力特徴空間に依存しない特徴表現を獲得できるアルゴリズムである。ヒトの認知処理能力では取り扱うことのできないほどの膨大な時空間的データを処理できる可能性や、帰納的に重要な素性や関係性を抽出しモデリングすることができる可能性を持つ。

既存の金融理論の中でヒトの認知処理限界を理由に単純化されていた手法に対して深層学習を用いることによって、人の認知処理限界に依存しない金融理論を構築できる可能性がある。

今までヒトの認知処理限界が背景にあったモデルを、深層学習を用いたアルゴリズムで拡張するためには、既存のモデルにおいてヒトの認知処理限界がボトルネックになっている要素の仮説を構築する必要がある。深層学習は前節で述べたとおり優れたアルゴリズムであるが、データにノイズも多く含まれ、非定常性がある金融市場においては、予測モデル全体を深層学習でただ置き換えただけでは上手くいかない可能性がある。実際、機械学習を用いたモデルよりも、伝統的な統計的手法を用いたモデルの方が優れている可能性を示唆する主張も存在する。

そこで本研究は、データ構造の画一性が低く、情報の非対称性が相対的に大きいii)金融資産、iii)投資家を分析することで金融市場を予測する手法を対象にする。まず、金融資産の特徴や性質に着目して株主価値を予測する際、ヒトでは1つないしは数企業の財務モデリングを行う事が限界であった手法に対して、深層学習を用いて複数の企業の財務・業績情報を同時に取り扱う手法に拡張する。既存のテクニカル分析の手法を用いるだけでなく、財務・業績情報を用いて市場における価値に着目したファンダメンタルズ分析を機械学習を用いて行い、アンサンブル学習を用いた複合的な株主価値推定モデルを提案した。XBRLファイルを利用し、全ての上場企業の企業情報を取得するシステムを用いて企業情報を一元化した。推定対象を標準化された株主価値にすることで、機械学習によるファンダメンタルズ分析を可能にした。機械学習によって、約60000サンプルのデータセットから帰納的な推定を行ったこと、重要な特徴量を1000項目ほどの企業情報の特徴量から抽出することによって、人間の処理できるデータサンプル数の限界及び人間の認知限界の問題を解消し、より精度の高い株主価値推定が行えることを示した。

次に、ポートフォリオのリスクを予測する際、ヒトではポートフォリオを構成する全ての企業のビジネスモデルや事業内容とそのリスクの関係を知らずに限界があったのに対して、深層学習を用いて企業の事業内容のベクトル表現を獲得し、ビジネスモデルや事業内容を反映した共分散行列の予測手法に拡張する。企業のビジネスモデルや事業内容のベクトル表現を用いる提案手法が、将

来の共分散行列をより精緻に予測できることを示した。

また、提案手法を用いて予測される共分散行列を用いて構築されたポートフォリオは、ビジネスモデルや事業内容を考慮しない場合のポートフォリオよりも優れたパフォーマンスを出すことを示した。さらに、提案手法を用いて導出されるベクトル表現を用いることで、既存の業界区分やセグメント情報では適切に表現しきれない企業情報を抽出できることや、ビジネスモデルや事業内容の性質に応じた期待収益率やリスクの分析可能性が高まっていることを示唆した。

そして、投資家の心理や行動に着目して価格変動を予測する際、ヒトでは社会ネットワークの構造や自ら情報発信をしない投資家を分析することには限界があったのに対して、**Deep Learning**を用いてソーシャルメディア内のネットワーク構造と、直接観測することが難しい投資家の内部状態から金融市場への作用をモデル化した予測手法に拡張する。ソーシャルメディアは、金融市場において投資家が何を認知し、どのような感情を抱いているかを獲得することができるセンサとして機能しているだけでなく、金融市場の価格変動に働きかけるアクチュエータとしても機能している可能性がある。直接観測することができず、時間を通して相互に複雑に関連している、ソーシャルメディアにおける影響関係から金融市場への作用を、**RNN**を用いてモデル化する手法を提案した。実験を通して、ソーシャルメディアにおける影響関係から金融市場への作用をモデル化する提案手法が、既存の価格決定要因では説明することが難しい暗号資産の価格変動をより精緻にかつ安定して予測できることを示した。また、提案手法のモデルは、ソーシャルメディアの影響関係から金融市場への作用の分析可能性を高めた。分析の中で、ソーシャルメディアのネットワークが直接接続されていなくとも、時間を通して影響関係になる可能性があり、さらに金融資産・市場の性質によってソーシャルメディアから金融市場への影響度が異なることを示した。