

氏 名	成富 佑輔
学位の種類	博士（経営学）
学位記番号	経博 第3号
学位授与の日付	2023年2月16日
課程・論文の別	学位規則第4条第2項該当
学位論文題名	A Study on Order Generation in High Frequency Trading with Generative Adversarial Network (邦題: 敵対生成ネットワークを使った高頻度取引における注文生成の研究)
論文審査委員	主査 足立 高德 委員 竹原 浩太 委員 室町 幸雄

【論文の内容の要旨】

本論文では、高頻度金融時系列データである注文データの人工的な生成に着目し、リアリティが高い人工市場シミュレーションを構築することを目指す。近年データ同化に見られるように、コンピュータシミュレーションと現実データの融合に関する研究が盛んである。特に深層学習と呼ばれる機械学習の発展により、物理モデルの代わりに深層学習モデルを用いたシミュレーションも可能になってきた。深層学習モデルを上手く学習させることさえできれば、背後にある物理モデルが未知でもシミュレーションができることを意味している。しかし、そのためには大量のデータセットを用意する必要がある。

そのため本研究では、株式市場における高頻度取引に着目し、深層学習モデルを用いてトレーダーが発注する注文の時系列を人工的に生成し、リアリティの高い人工市場を構築することを目指す。データ生成手法には、Wasserstein Generative Adversarial Network (WGAN) を用いてモデル化する。

第一段階として、ミクロな注文ダイナミクスのみに着目し、WGANによる注文データ生成とデータ拡張の有効性を検討した。人工的に生成した注文の時系列データから Limit Order Book (LOB) を生成し、仮想的に注文を約定することで価格時系列データを作り、こうして得られた人口データを1ティック先の価格予測モデルのデータ拡張として学習データに使用した。多くの個別銘柄で、データ拡張を行った予測モデルは、データ拡張を行わないモデルよりも精度が高いことが確認され、その有効性が示された。しかし、マクロ量である価格ダイナミクスが持つ長期記憶の振る舞いを表現するには、ミクロな注文ダイナミクスだけに着目するだけでは不十分であり、長期予測への適用は困難である。

第二段階では、価格時系列の特徴として **Signature** の研究を行った。**Signature** は時系列が描く面積に注目した特徴量であり、最近特に注目され始め様々な分野で応用されている。ただし、従来の **Signature** は時系列の描くパスが連続であることが前提であるため、離散データを線形補間などで連続パスに変換した上で計算を行う必要があった。金融時系列データのエデータは多くの場合離散値であるため、直接離散値として扱えることが望まれる。そこで、離散データとして計算できるように **Signature** を拡張し、離散 **Signature** と命名し、金融時系列データに対して有効であることを示した。

最終段階として、ミクロな注文データからマクロな価格データを生成させる手法として **Micro-Macro GAN** を提案した。これは、第一段階で用いたミクロな注文データ生成手法（これを **Micro GAN** と呼ぶ）と第二段階で述べた **Signature** を用いたマクロな価格データの生成手法（これを **Macro GAN** と呼ぶ）の2つの **GAN** を連成させる方法である。つまり、**Micro-Macro GAN** は、ミクロな注文ダイナミクスとマクロな価格ダイナミクスの両方について、リアリティのあるデータを生成するための手法である。その結果、**Micro-Macro GAN** から生成した注文分布の比較においては現実のものと同程度の結果を得られ、また生成された価格ダイナミクスも現実データと同程度の長期周期のあるダイナミクスを生成することに成功した。しかし学習のための計算コストが非常に高く並列分散化などさらなる改善が今後必要である。

まとめると、リアリティのある人工市場シミュレーションを実現するためには、ミクロの注文データとマクロの価格データの両方にリアリティが必要であり、そこで **Micro-Macro GAN** を提案するに至った。本論文で提案した人工市場シミュレーションの今後として、様々な時間ホライズンでのデータ拡張、バックテスト環境としての人工市場の使用、自動売買アルゴリズムを改善するための環境に使用するなど様々な応用が考えられる。