

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業

研究成果報告書



令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：32604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2019

課題番号：15K01200

研究課題名（和文）金融市場の高頻度データ解析とリスク管理への応用

研究課題名（英文）High frequency data analysis of financial markets and its application to risk management

研究代表者

落合 友四郎 (Ochiai, Tomoshiro)

大妻女子大学・社会情報学部・准教授

研究者番号：60423034

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000 円

研究成果の概要（和文）：我々の開発した Volatility-Constrained-Correlation（VC-correlation）と呼ぶ新しいタイプの手法の計量が、さまざまな金融データの方向性・因果関係を同定できることを示した。この金融市場向けに開発したVC Correlationが、他の分野（生命科学の遺伝子発現）の時系列データなどにも応用可能であることを示し、この計量が大きな汎用性をもつ良い計量であることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

株式市場などの金融ネットワークは多くのノード（企業など）からなる大規模ネットワークとみなすことができ、そのダイナミクスを知ることが金融安定化のために重要である。我々の開発したVC correlationやMDSの密度公式などにより株式市場などの多くのノードがある金融ネットワークに対して、因果関係などを同定することができるようになり、金融危機などのショックの際にどれくらいのノード（金融機関などの支配ノード）を救済すればよいのかを見積もることが出来るようになると期待される。

研究成果の概要（英文）：Volatility Constrained Correlation (VC correlation), a new type of method developed by us, has been shown to enable us to identifying directional and causal relationships in various financial data. Furthermore, the VC correlation can also be applied to time series data in other fields (gene expression in life sciences) and has been shown broadly applicable and useful metric.

研究分野：金融情報学

キーワード：金融 データマイニング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1．研究開始当初の背景

金融市場は、銀行間取引など、国際的な資本移動ネットワークであると同時に、その資本自体の価値が時間的に変動するダイナミカルな複雑系である。また、自然科学とは異なり、実際の金融取引は、人間が行うために、行動心理や群集心理に支配された存在でもある。

リーマンショックや、ユーロ危機など最近の金融危機は、金融ネットワークのシステム的な危機ととらえることができる。さらに、信用不安という人間心理が加わり、実態以上の金融資産価値の乱高下を引き起こし、世界経済に混乱をもたらした。リーマンショックの震源地である住宅債権の金融派生商品や金融機関のリスクマネジメント手法は、金融工学を用いて設計されているが、その前提条件となる確率理論に大きな問題を抱えている。それは、自然科学とは異なり、株価などの経済的な変数の背後の確率分布はテールの厚い分布になっていて、さらに確率分布が時間的に一定ではない。また、各金融資産間の相関係数も一定ではなく、いわゆるボラティリティに強く影響を受ける。

一方、データベース技術の発展に伴い、ミリ秒単位の価格データや取引データが蓄積されてきている。そこで、これらの問題に対して、最近蓄積されてきている金融・経済の時系列データを解析して、その問題の背後や解決策を明らかにしていく。

2．研究の目的

最近のビックデータ科学の流れにともない、大量の金融・経済関連の時系列データが蓄積されるようになってきた。これら大量の金融・経済関連データから、その背後にあり、直接観測することの難しいメタ情報（因果関係、個人の行動嗜好）を推定することが、重要になってきている。一方、金融業界においては、アセットアロケーションをはじめとするリスク管理手法の開発が重要であるが、従来の金融派生商品の設計やリスクマネジメントには、様々な解決すべき問題を抱えている。そこで、本研究では、最近蓄積されてきている膨大な金融時系列データを情報工学的な観点から解析して、これらのリスク管理の問題の解決策を探っていった。金融市場を、ダイナミカルな複雑系ととらえて、リスク耐性の高い金融工学の手法を提案していく。

3．研究の方法

ビックデータ時代の到来に伴い大規模に蓄積されてきた金融・経済の時系列データを情報工学的観点から解析する。まず、様々な金融機関で実際に使われている金融工学においては、価格変動がブラウン運動をはじめとする確率過程に従うと仮定されている。金融時系列データをデータマイニングすることにより、従来仮定されている確率過程からの乖離を同定する。次に、複数の金融資産価格の間の相関について、我々が考案し、有効性が確かめられている新しい相関解析の手法（VC-correlation）を用いて、因果関係を含む金融ネットワークを構築する。また、問題となる確率過程を、行動心理学の立場から導くことができないか検討する。最終的には、これらの研究で得られた金融資産間のダイナミクスとネットワーク情報を用いて、新しい金融資産価格モデルを構築して、リスクマネジメント手法を提案していく。

これまで様々な分野の研究において、時系列データの相関係数を計算することにより、その背後

のネットワークを推定する努力が進められてきた。これら時系列データから、背後のネットワークを同定する研究は、いわゆる通常のピアソン相関係数 (Pearson product-moment correlation coefficient) を用いられることが多い。ところが、通常の相関係数では、相関の有無はわかっていても、その方向性まではわからない。つまり時系列データ A,B に対して、相関係数 $\text{Cor}(A,B)$ と、 $\text{Cor}(B,A)$ では同じ値をとるために、A と B のどちらが制御側で、どちらが被制御側かわからないのである。そこで、我々は Volatility-Constrained-Correlation (VC-correlation) と呼ぶ新しいタイプの相関を計測する手法を開発した。この VC-correlation を用いることにより、2つの要素 A,B の間の相関のみならず因果の方向性まで検出できるようになった。VC-Correlation を用いて、金融市場間の影響伝播の有向ネットワークを構築して、新しいリスクマネージメントの方法や金融派生商品のモデリングの提案を行う。複数の金融商品を組み合わせたリスクマネージメントや金融派生商品の設計には、通常金融商品の間の一定の相関係数と、価格変動の分布が仮定されているが、この方法で得られた実証的な研究成果を用いることにより、より正確なリスクマネージメントの方法などを提案することができると考えられる。

4 . 研究成果

(VC correlation、金融、他分野への応用)

我々の考案した VC correlation を用いることにより、2つの要素 A,B の間の相関のみならず因果の方向性まで検出できる。そこで、日経平均構成銘柄の daytime return と overnight return の間の相関構造を VC correlation を用いて解析した。金融工学や経済物理学の研究では、日中の取引に焦点を当てた研究が多いが、非取引期間や夜間の取引に焦点を当てた研究はあまり行われていない。本研究では、overnight return と daytime return の相関関係 (相関 ND) と、daytime return と翌日の overnight return の相関関係 (相関 DF) を計算した結果、いくつかの知見が得られた。第一に、日本の株式市場では、overnight return と daytime return の間に弱い負の相関 (相関 ND) が観測された。第二に、VC correlation を適用することで、このシグナルが有意に増幅され、標準的な相関に比べて daytime return の予測可能性が高まることがわかった。さらに、VC correlation から得られた増幅シグナルを各銘柄ごとに分析したところ、標準相関と VC correlation の間には線形的なスケールの関係が見られた。このことから、VC correlation を利用することで、より強い相関効果が得られることがわかった。以上のことから、日中と夜間に分けた金融取引データと VC correlation の組み合わせは、市場の予測可能性を向上させる道を開くものと考えられる。

今回、この金融市場向けに開発した Volatility Constrained Correlation が、他の分野 (生命科学の遺伝子発現) の時系列データにも応用可能であることを示し、この計量が大きな汎用性をもつ良い計量であることを実証した。潜在的な疾患分子経路やシグナル伝達ネットワークを明らかにするためには、無指向性マップだけでなく、細胞構成要素間の機能的相互作用や物理的相互作用の方向性を推論する必要がある。遺伝子間の機能的相互作用を同定するための広範な方法は、実験的な遺伝子発現測定値間の相関関係にある程度依存している。しかし、標準的なピアソンまたはスピアマン相関に基づくアプローチでは、細胞成分間の無指向性の相関関係を決定することしかできない。ここでは、遺伝子発現プロファイルのために、遺伝子間の相互作用の方向性を捉えるために VC correlation を適用する。予測結果を評価するために、DREAM5 ネットワーク推論課題で配布された4つのデータセットを用いた。本研究で提案した手法は、実験的に検証された遺伝的調節リンクの方向性のゴールドスタンダードと比較した。その結果、本手法は

0.5%以上の成功率で高い統計的有意性を持って遺伝的相互作用の方向性を予測することに成功していることがわかった。

（MDS ネットワーク）

株式市場などの金融ネットワークは多くのノード（企業など）からなる大規模ネットワークとみなすことができる。ネットワーク上の最大支配集合（Minimum Dominating Set）の密度は、そのネットワークをコントロールするのにどれくらいのノードを支配すればよいのかを測る重要な指標である。この MDS の密度を統計力学で用いられる Cavity Method を用いて解析的に求めることに成功した（Analytical solution for the size of the minimum dominating set in complex networks）。今回導出した解析的な公式と、シミュレーション結果は非常によく一致しており、解析解の有用性を示している。これにより株式市場などの多くのノードがある金融ネットワークに対して、金融危機などのショックの際にどれくらいのノード（金融機関などの支配ノード）を救済すればよいのかを見積もることが出来るようになると期待される。

（人工知能、他の分野への応用）

最近の情報技術において、深層学習、特に畳み込みニューラルネットワークをはじめとする機械学習の技術が脚光を浴びている。深層学習をはじめとする機械学習の技術は画像認識や音声認識などに応用され大きく注目されている。一方、金融市場には企業決算、株式、為替などの多くの時系列データがあり、これらに対して深層学習の技術の応用研究は多くされるようになってきている。深層学習分野で主要な技術である畳み込みニューラルネットワークは画像認識で非常に高いパフォーマンスを発揮している。この畳み込みニューラルネットワークを金融市場のデータに応用しようとする、問題となる部分がある。それは、畳み込みニューラルネットワークでは、入力データにおいて近傍にある要素同士は類似性がなければならない。ところが、複数の金融データの時系列データがある時、一般的には複数のデータ同士をどのように並べれば、要素同士の類似性が高くなるかの手法はまだしっかりと確立されていない。そこで、複数の金融データを並べる時の一般的な手法をネットワーク論を援用して構築することを検討した。具体的には、畳み込みニューラルネットワークなどの学習マシンにデータを入力する前に、スペクトラルクラスタリングによって次元圧縮を行い学習時間を圧縮する方法を応用した。今回用いたスペクトラルクラスタリングは、ネットワークの隣接行列からラプラシアンを構成して、その固有値問題（主成分分析）を解いて、寄与の大きい固有値・固有ベクトルを求める。それを 2 次元グラフ上に表現して、そのグラフ上で時系列データを表現すると画像データと類似したデータ構造となる。そのうえで畳み込みニューラルネットワークを適用することによって、次元圧縮で高速に学習されるアルゴリズムとなる。今回、これを他分野のデータに応用した（Convolutional neural network approach to lung cancer classification integrating protein interaction network and gene expression profiles）。今後は金融データ（企業業績、株価データ）に応用する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wakai Ryouji, Ishitsuka Masayuki, Kishimoto Toshihiko, Ochiai Tomoshiro, Nacher Jose C.	4. 巻 12
2. 論文標題 Identification of genes and critical control proteins associated with inflammatory breast cancer using network controllability	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0186353
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0186353	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Ochiai, J.C. Nacher	4. 巻 515
2. 論文標題 VC correlation analysis on the overnight and daytime return in Japanese stock market	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica A	6. 最初と最後の頁 537-545
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Teppei Matsubara, Tomoshiro Ochiai, Morihito Hayashida, Tatsuya Akutsu and Jose C. Nacher	4. 巻 Vol. 17, No. 3
2. 論文標題 Convolutional neural network approach to lung cancer classification integrating protein interaction network and gene expression profiles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Bioinformatics and Computational Biology	6. 最初と最後の頁 1940007
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1142/S0219720019400079	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Ochiai, J.C. Nacher	4. 巻 145
2. 論文標題 Predicting link directionality in gene regulation from gene expression profiles using volatility-constrained correlation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Biosystems	6. 最初と最後の頁 9-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.biosystems.2016.05.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J.C. Nacher, T. Ochiai,	4. 巻 8
2. 論文標題 Analytical solution for the size of the minimum dominating set in complex networks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing	6. 最初と最後の頁 1750005(1-16)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1142/S1793962317500052	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 関和広, 水田孝信, 八木勲, 落合友四郎, 酒井浩之, 和泉潔	4. 巻 32巻6号
2. 論文標題 金融情報学：ファイナンスにおける 人工知能応用	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 905-910
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 T. Ochiai, J.C. Nacher
2. 発表標題 日本株式市場におけるdaytimeとovernight returnの間のVC相関解析
3. 学会等名 第24回人工知能学会 金融情報学研究会(SIG-FIN)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Ochiai, J.C. Nacher
2. 発表標題 外国為替取引におけるプロスペクト理論
3. 学会等名 第19回人工知能学会 金融情報学研究会(SIG-FIN)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J.C. Nacher and T. Ochiai
2. 発表標題 Inferring the directionality of correlations from time series data in complex financial systems
3. 学会等名 Challenges in Data Science: a complex systems perspective, International Conference (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. Ochiai
2. 発表標題 On the Ultra-Discretization method and the Analytical Solution of Minimum Dominating Set
3. 学会等名 Workshop Topics on tropical geometry, integrable systems and positivity (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. Ochiai, J.C. Nacher
2. 発表標題 Volatility-constrained correlationを用いた金融市場間の影響伝播の解析
3. 学会等名 人口知能学会 合同研究会2015：優秀賞記念講演 (招待講演)
4. 発表年 2015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
---------	---------------------------	-----------------------	----