明治大学数理科学　２０２２年度 研究集会

Data-driven Mathematical Sciences

経済物理学とその周辺

アブストラクト集

日時：２０２２年１１月２５日～２６日

場所：明治大学中野キャンパス 825 号室

　　および　オンライン Web 研究集会

主催：明治大学「現象数理学」共同利用・共同研究拠点

はじめに

本研究会は、データ解析に基づいた、数理・および定量科学としての視点から経済学を見直そうとの目標を掲げて研究活動を行っている、数理・情報・物理科学分野の研究者に発表の機会 を提供することを目的としている。 歴史的には、総合研究大学院大学・教育研究交流センターの「新分野の開拓」（１９９８－ ２００３）の一環として発足した「経済学」小研究会に端を発し、引き続き、統計数理研究 所・共同利用による「経済物理学とその周辺」研究会として活動したあと（２００３－２０１７)、明治大学「現象数理学」共同利用・共同研究拠点の主催で年次研究集会「Data-driven Mathematical Sciences：経済物理学とその周辺」として活動を継続してきた。
コロナ禍により 2 年半にわたって対面開催ができないまま、2020 年春から 2022 年春まで遠隔開催を続けてきたが, 遠隔開催のみでは一方的な発表講演になりがちであるという不満があった．2022 年夏頃から次第に社会が落ち着きを取り戻して来たのを機会に，基本的には webinar 配信を行いつつ、少人数が中野キャンパスに集まって対面参加をするという形でのハイブリッド開催という方式で、２０２２年 11 月 25-26 日の研究会を行った．

初日の 25 日は午後からの開始で 4 件の発表講演（対面）があり，金沢学院大学の石川温と藤本祥二、国立情報学研究所の水野貴之の共同研究による「メッシュ統計を用いた地震に観られる冪則と時間反転対称性-経済物理学的観点より-」を石川が発表、立正大学データサイエンスの家富洋と相馬亘による 「新型コロナウイルスワクチン接種の賛否動向：リツイートネットワーク解析」を家富が発表、筑波大学の佐藤優輝と金澤輝代士による「金融市場における注文流の長期記憶性とその統計手法の検討」を佐藤が発表、明治大学の田中美栄子と井倉弓彦による「暴落は予測できたのか？」を田中が発表した。データ解析を主としたこれらの発表は夫々の講演者が前年度までの研究で使って来た手法による新たなデータへの適用と考察の深化を含み活発な意見交換が行われた。翌 26 日には午前と午後に各 3 件の講演があり、そのうち最初の 2 件と最後の 1 件がリモート参加であった。午前は、久留米大学の加藤淳一による「『市場創造分析』を巡って」と題する発表、国際基督教大学の金子拓也と野村 HD の久門正人による「Convergence of the maximum Eigenvalue of Random Matrix on Financial Data」を金子が発表、3 番目に千葉工業大学の荻林成章による「免疫および抗体を考慮したエージェントベース感染モデル」、午後は中央大学の有賀裕二による「The role of Money」から始まり、統計数理研究所の下野寿之による「割合を丸めた数値から共通する分母を算出するプログラムの作成とその有用性の検討」でこれは比率の数字が示す小数点以下の数字のセットから母集団のサイズを推測するという異色の内容で、京都サイエンスカフェの下浦一宏による状況報告で締めくくった。対面参加もリモート参加も含めて，率直かつ有意義な意見交換と共に、久しく会えなかった研究者間の交流もできて、今後の研究の活性化に繋げることができた．

プログラム

◆11 月 25 日（金）

13:00-13:20　「ごあいさつ」田中美栄子

13:20-14:00　「メッシュ統計を用いた地震に観られる冪則と時間反転対称性-経済物理学的観点より-」
石川温、藤本祥二（金沢学院大学）、水野貴之（国立情報学研究所）

14:20-15:00　「新型コロナウイルスワクチン接種の賛否動向：リツイートネットワーク解析」
家富洋、相馬亘（立正大学データサイエンス）

15:20-16:00　「金融市場における注文流の長期記憶性とその統計手法の検討」
佐藤優輝（筑波大学・M2）、金澤輝代士（筑波大学）

16:20-17:00　「暴落は予測できたのか？」
田中美栄子、井倉弓彦（明治大学）

◆11 月 26 日(土)

09:30-10:10　「『市場創造分析』を巡って」
加藤淳一（久留米大学）（リモート参加）

10:30-11:10　「Convergence of the maximum Eigenvalue of Random Matrix on Financial Data」
金子拓也（国際基督教大学）、久門正人（野村ホールディングス）

11:30-12:10　「免疫および抗体を考慮したエージェントベース感染モデル」
荻林成章（千葉工業大学）

14:00-14:40　「The role of Money」
有賀裕二（中央大学）

15:00-15:40　「割合を丸めた数値から共通する分母を算出するプログラムの作成とその有用性の検討」
下野寿之　（統計数理研究所）

16:00-16:40　「微分可能性と予測可能性について」
下浦一宏（NPO 法人科学カフェ京都）（リモート参加）

メッシュ統計を用いた地震に観られるベキ則と時間反転対称性

－経済物理学的観点より－

石川 温、藤本祥二（金沢学院大学経済情報学部）、水野貴之（国立情報学研究所）

本発表では、日本の気象庁が公開している地震データを用いて 1982 年より 2021 年までの震度 1 以上の地震を対象とし分析を行い、グーテンベルグ・リヒター則の推移を測定することにより、年間地震数とb値との正の相関を指摘した。そして、地震のマクロな統計則の関係を明らかにするため、メッシュで地震を集計するメッシュ統計を行った。その結果、メッシュごとに集計された地震エネルギーにもベキ分布（グーテンベルグ・リヒター則）が観測されることを確認した。さらに地震回数についてもベキ則が成立しており、地震エネルギーと地震回数に相関があることも確認した。そして、メッシュで集計した地震エネルギーの散布図には、時間反転対称性があることを確認した（図 1）。そして最後に、地震エネルギーの時間変化には大規模域でも初期値依存性がある（ジブラ則が無い）ことを確認した（図 2）。

これまで我々は、企業規模量において、時間反転対称性とジブラ則よりベキ分布が導かれることを様々な実データで確認してきた。一方今回我々は、地震エネルギーでは、ベキ分布（グーテンベルグ・リヒター則）だけでなく、時間反転対称性が観測されることを示した。また同時に、ジブラ則が無いことも確認した。これは、時間反転対称性とジブラ則を拡張したものより、ベキ分布が導かれる仕組みが存在することを意味している。

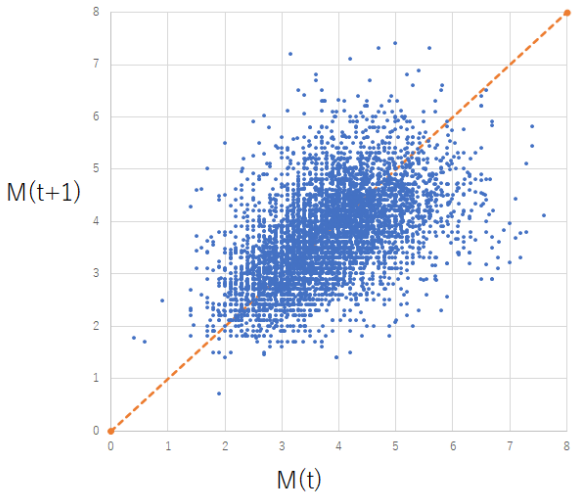


図 1 2 次メッシュで集計した 20 年間のマグニチュードの散布図

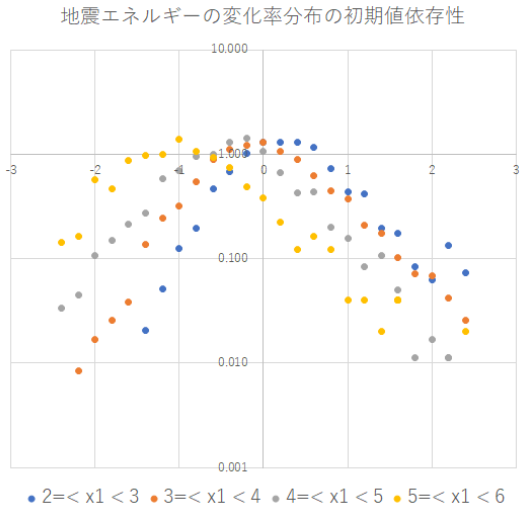


図 2 2 次メッシュで集計した 20 年間のマグニチュードの差の分布の初期値依存性

新型コロナウイルスワクチン接種の賛否動向：リツイートネットワークの解析

立正大データサイエンス　家富洋，相馬亘

Pros and Cons Trends of the COVID-19 Vaccination: Analysis on a Retweet Network

Rissho University　Hiroshi Iyetomi, Wataru Souma

ソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS) の一つである Twitter は，コミュニケーション・ツールとして急速に普及している。特に，他人の投稿を容易に引用できるリツイート機能は，人々の間の情報伝播を容易にする。反面，エコーチェンバーの形成を促進する可能性など弊害も指摘されている。我々はコロナ禍の下でワクチンに関して発信された Twitter のデータを網羅的に取集し，リツイートネットワークを構築し，そのネットワーク上でどのようなエコーチェンバーが形成されたかについて解析した。

データはコロナ禍直前の 2019 年 10 月 1 日から東京オリンピック直前の 2021 年 5 月末までの期間に収集された。このデータから構築されたリツイートネットワーク（最大弱連結成分）のノード数は 453,755 であり，リンク数は 2,177,138 である。ここでノードは発信者である。また，リンクは有向であり，その向きは「リツイートの元となるツイートの発信者からリツイートの発信者へ」（情報伝搬の向き）である。

このネットワークを 3 次元空間内で描画した結果を図 1 の左図に示す（ノードのみを表示)。z 軸方向は Helmholtz–Hodge 分解によって得られた階層性を計量するポテンシャル値を反映し（z 軸の正方向が上流)，x-y 平面内でのノード配置はバネ電気モデルで最適化されている。特に，蝶ネクタイ構造分解によって得られた巨大強連結成分，入力成分，出力成分，その他をそれぞれ緑，赤，青，灰色で識別している。エコーチェンバーの中核となり得る巨大強連結成分には 15,698 個のノード数と 299,733 本のリンク数が含まれる（第 2 番目に大きい強連結成分はわずか 14 ノードからなる)。

図 1 の右図は，左図を x-y 平面へプロジェクションしたものである。巨大強連結成分は非常に不均一であり，その中には 3 個の主要なコミュニティーが存在し，ノード数の大きさで第 1 番目(COM1)，第 2 番目(COM2)，第 3 番目(COM3) のコミュニティをそれぞれ赤，緑，青で示している。各ツイートに付属のハッシュタグからコミュニティの特徴づけを行なった。COM3 はワクチン接種に反対するコミュニティであり，ワクチン接種を支持する COM1 および COM2 と対立する。また，COM1 と COM2 は一枚岩ではなく，それぞれ野党側，与党側の政治的に対立するコミュニティである。このように我が国においてはワクチン接種についての賛否論争は政治的対立に組み込まれていない。対照的に米国ではワクチン接種率の大小と政治的立場の違いとの間に強い関係がみられる。

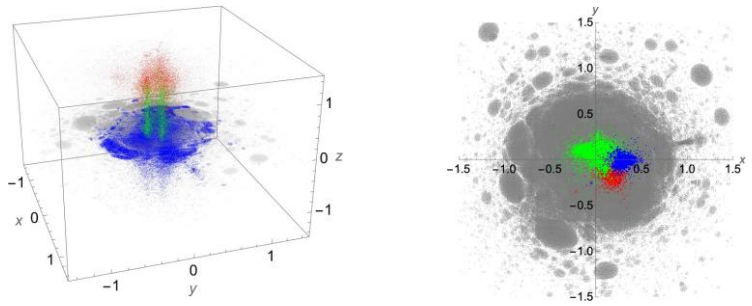


図 1　3 次元空間内で描画されたリツイートネットワーク（左図）とその x-y 平面へのプロジェクション（右図）

金融市場における注文流の長期記憶性とその統計手法の検討

佐藤 優輝（筑波大学理工情報生命学術院）・金澤 輝代士（筑波大学システム情報系）

高精度かつ大量の金融市場の取引データが容易にアクセス可能になったことに伴い、ランダムウォークを中心とする一般的な金融理論では説明が困難な金融市場の経験則(anomaly, アノマリー)が観測されるようになった。例えば、売買符号時系列の長期相関(long range correlation, LRC)はその代表である。このような非自明な統計則が観測されるようになったことに伴い、LRC に代表される経験則を適切に測定するための理論的な枠組みや統計的な枠組みに関心がもたれるようになった。

本研究では、売買符号時系列の LRC という経験則に注目した。売買符号時系列の LRC とは、一度買い（売り）注文が観測されるとしばらく連続して買い（売り）注文 が観測されるという現象である。この現象を定量的な定義は、tt番目の成行注文の売買符号を$\epsilon\epsilon(tt)$、買い 注文を+1、売り注文を－1 と定義したとき、その自己相関関数 $CC(\tau\tau)$ が 1 より小さいべき指数$\gamma\gamma$を持つべき則従うという現象である:

$$C(\tau\tau) \coloneqq \langle\epsilon\epsilon(tt)\epsilon\epsilon(tt+\tau\tau) \propto \tau\tau-\gamma\gamma, \qquad 0<\gamma\gamma<1.$$

また、売買符号時系列の過去との依存性は、べき指数 $\gamma\gamma$ によって特徴づけられる。そのため、その特徴量 $\gamma\gamma$ を適切に推定するための理論的な枠組みや統計的な手法に関心が集まっている。

現在に至るまで、$\gamma\gamma$ を測定するための有効な手法として detrended fluctuation analysis (DFA) をはじめとする様々な統計手法が提案されてきた。しかし、Akyildirim et al. (2019) は、DFA を含む $\gamma\gamma$ を推定するために有効であると考えられている複数の統計手法を共通のデータセットに対して実行し、その推定量の比較を行った。その結果、手法ごとに観測された $\gamma\gamma$ の値は $0<\gamma\gamma<1$ を満たすという意味で長期記憶過程の識別可能性は示されたが、$\gamma\gamma$の大きさについては手法間でばらつきがあることが示された。そのため、売買符号時系列の自己相関のべき指数 $\gamma\gamma$ の測定に対して有効な方法の再検討の余地があると言える

本講演では、既存の統計手法の優劣を検討するために、売買符号時系列の長期記憶性を説明するミクロモデルとして有力なモデルである Lillo-Mike-Farmer (LMF) モデルを用いた推定精度の比較分析を行った。LMF モデルは、$\gamma\gamma$についての解析的性質が詳細に調べられている理論モデルであるため。そのため、既存の統計手法の有効性を厳密解の観点から推定値の妥当性を検証することができると期待される。本講演では、LMF モデルで生成した売買符号時系列を用いて既存の統計手法の良し悪しを比較した結果を報告する。

参考文献：

F. Lillo et al., Physical Review E, 71, 066122, (2005).
E. Akyildirim et al., IPAG business school working paper, No. 2019-011 (2019).

暴落は予測できたのか？

田中 美栄子（明治大学 OSRI)、井倉 S. 弓彦（明治大学総合数理学部）

昨年度の研究会で発表した RMT テストの応用として、価格揺らぎの 1 秒足の酔歩からの乖離を価格急落の予測に使う可能性を、より広範囲のデータで検証した。数値化する指標として,データから求めた相関行列の最大固有値 λ_{max} が RMT のランダム極限の最大値 λ_+ を超える場合にその超過分

$$\Delta\lambda = \lambda_{max} - \lambda_+ \tag{1}$$

を乱数度の劣化分とみなし、2010 年以来の TOPIX 総合指数の 1 秒足の価格データを解析し、$\Delta\lambda$ を算出した結果、2010－2021 の TOPIX 指数の 1 秒足に対して、2010-2013 の期間は全体として$\Delta\lambda=0$ となる部分が殆どで酔歩を基本としている中に、3 個の孤立峰が現れた。最初の孤立峰は 3.11 の大震災に続く原発事故という外生的な要因で酔歩からの一時的な乖離が起きたのに対し、後の 2 峰は特段の外的要因のない時期における、投資家心理の動揺の反映とみられる内生的要因による酔歩からの乖離と見なすことができ、価格下落の前触れと見なせることを議論した。このとき、同データの 2014-2021 については酔歩と見なせる期間が少なく、酔歩仮説の条件を満たさないため、対象から除外していた。TOPIX 指数は市場全体への資金の出入りを表し、様々の要因を含むため酔歩になっていないのに対し、取引量の特に大きい優良株だけを選出して作られる TOPIXcore30 指数に対して $\Delta\lambda$ を算出したところ、2010-2021 の全期間を通して$\Delta\lambda$ が比較的小さくしかも 2010-2013 の期間は昨年度に行った TOPIX 指数と矛盾しない結果となる事が解った。2014 以降で$\Delta\lambda>0.25$ の条件を満たす 6 つのピークがその後の価格下落を引き起こすかどうかを調べたところ(i)(ii)(v) (vi)は確かに価格下落の前兆となっているが、(iii)と(iv)の後には特段の下落は起きない。理由として考えられるのは、前者は$\Delta\lambda$ のピークが孤立しているのに対し、(iii)と(iv)については酔歩への回帰が起きないことである。

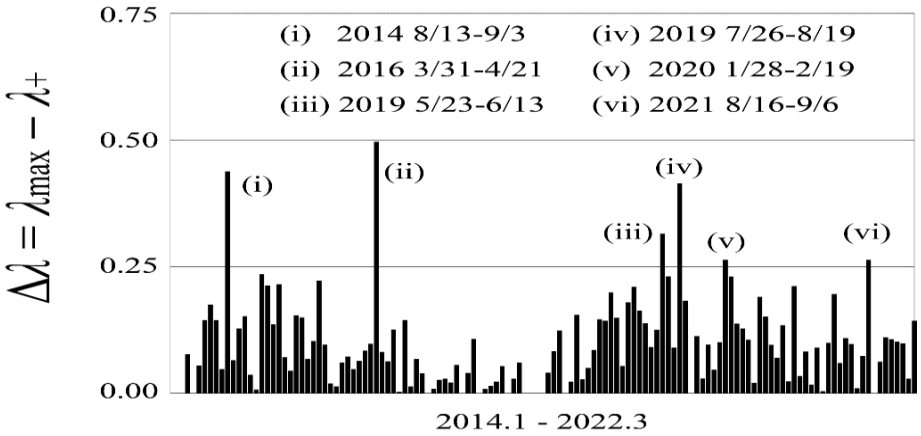


Fig.1 式(1)で定義される $\Delta\lambda$ を TOPIXcore30 に対して求めた時系列

『市場創造分析』を巡って

久留米大学商学部　加藤淳一

本発表は、『市場創造分析』（URL：　https://bit.ly/3X23vrF　無料ダウンロード可能）の貢献を端的に整理した。以下に 5 点で、発表の概要を整理する。第 1 に、本研究の目的は、市場創造の解明である。市場創造とは、売上高のような水準の変化ではなく、軸（変数）の変化を指す。軸（変数）の「変化」を扱う以上、軸（変数）が事前に（データに先立って仮説的にも）定まっていないとする。軸（変数）が先験的に定まらないとすると、変化前後の軸（変数）は未知である。よって、研究目的は、その未知な軸（変数）の特定となる。

この研究目的の達成には、少なくとも次の 2 点に取り組まねばならない。まず、研究開始に先立って、軸（変数）が未知である。すると、これまでの社会科学研究のように、（理論とは、既知の変数と既知の変数との関係なのだから、）理論を前提にした研究ができない。理論に依拠しない研究を実行する場合、研究による知の蓄積は、どのようにして実現されるのか。次に、理論に依拠せずに、どのようにして軸（変数）の変化を明らかにするのか。これら 2 点である。

第 2 に、本発表の議論の前提を整理する。研究会参加者は、発表分野と異なるバックグラウンドをお持ちだと想定されるので、本研究での前提となる考えを以下 6 点で共有した。(1) 本研究は、市場について考える。よって、消費者個人について考えるのではなく、市場と呼べる程度の消費者の集団について考える。(2) 消費者は、それぞれ消費者ニーズをもっている。(3) 消費者は、商品・サービスを何らかの基準（軸、変数）に照らして評価する。この基準は、消費者自身が自覚する軸も、自覚しない軸も含めている。

(4) 商品・サービスの評価の高さ（評価軸で水準の高さ）は、消費者ニーズの充足度の高さと関連する。(5) 消費者は、類似の消費者ニーズを共有する集団（市場セグメント）により捉えられる。(6) 消費者は、自分の所属する市場セグメント（消費者ニーズを共有する集団）を特徴付ける軸と同じ軸で、自分たち自身が商品サービスを評価する。

第 3 に、本研究の貢献を端的に 2 点で示す。本研究は、第 1 で整理した研究目的に対して、第 2 で列挙した前提の下で、次の 2 点の貢献を示した。第 1 点目の貢献は、社会科学研究として、理論（変数間関係）としての知の蓄積ではなく、手順（どのような手順でデータを解析していくのか）として知を蓄積させる。こうした知の蓄積は、経験研究の結果（変数間関係）の一般化ではなく、手順（どのような手順でデータを解析していくのか）の洗練化として、社会科学研究を発展させる。第 2 点目の貢献は、マーケティング研究として、(1) 市場創造を、（製品ライフサイクルのような）量の変化ではなく、軸（変数）の変化として捉え、(2) その軸（変数）の変化を捉える具体的手順を提案した。これらの貢献を実現した。では、これら貢献について、より詳細に説明する。

第 4 に、社会科学研究としての貢献を説明する。社会科学研究は、理論に始まり、理論に終わる。社会科学研究の大まかな知の蓄積を整理する。すると、社会科学研究は、(1) 理論からはじまり、(2) 理論に基礎付けられた仮説を構築し、(3) 仮説を検証するためのデータを収集し、(4) 収集したデータにより（理論に基礎付けられた）仮説を検証し、(5) 検証結果が新たな知として理論へ蓄積される。すなわち、社会科学研究は、理論に始まり、理論に終わる。理論が、社会科学研究の中核である。この理論とは、既知の変数と、既知の変数との変数間関係である。つまり、理論に基礎付けられた社会科学研究の実行には、研究開始

に先立って、変数（軸）が既知でなければならない。

ところが、本研究の目的を再確認すると、本研究の目的は未知の変数の特定であった。変数が未知であり、その変数を明らかにしたい。これが研究目的であるのだから、これまでの社会科学研究のように、変数の既知を前提とした、理論を中核とした研究を実行できない。これまでの社会科学と異なる研究目的を実現するには、新しいアプローチを必要としている。それは、変数をデータから探索する研究である。

なお、変数をデータから探索すると知って、反射的にデータマイニング研究と混同してはならない。データマイニング研究は、経験研究の結果を、次の研究において前提（理論）として活用する。よって、理論が未開拓なとき、当座の解決方法として利用されている。本研究の目的は、そうした当座の解決方法とは異なる。何度研究が繰り返されても、変数（軸）の変化を知りたい。つまり、研究開始に先立って、変数（軸）はいつも未知である。

これまでの社会科学研究は、知を理論へと蓄積させた。では、理論を中核としない、データから変数を探索する研究の場合、どこに知を蓄積させられるだろうか。こうして本研究は、理論ではなく、手順へ知を蓄積させることを提案する。本研究は、社会科学研究として、経験研究の結果（変数間関係）の一般化（理論）ではなく、手順（どのような手順でデータを解析していくのか）の洗練化として、知を蓄積させる。

第 5 に、マーケティング研究としての貢献を説明する。マーケティング研究は、これまで市場創造を量の変化として捉えてきた。量の変化とは、例えば売上高のような軸を固定して、時間経過と共に、この金額の変化に注目する。そして、市場創造を例えば売上高の量（金額）の上昇下降といった変化により把握する。しかし、ここまでで論じてきたように、本研究は、軸の変化に注目する。よって、市場創造を、異なる軸への移り変わりとして捉える。こうした捉え方により、マーケティングの知の蓄積の基礎とできるような、具体的な手順の提案を行った。なお、手順の詳細は、『市場創造分析』（URL： https://bit.ly/3X23vrF 無料ダウンロード可能）において、文章のみならず「図解」してある。もしも、本発表を通じて関心を持っていただけたならば、是非ダウンロードしていただき、ご参照していただきたい。

以上から、本研究『市場創造分析』は、社会科学研究（とマーケティング研究）での手順への知の蓄積と、マーケティング研究での具体的手順を示した。これにより、社会科学研究およびマーケティング研究へ、理論への知の蓄積ではなく、手順への知の蓄積という新たな視座を提供した。

Convergence of the Maximum Eigenvalue of Random Matrix on Financial Data

金子拓也[1] 久門正人[2]

Key words: ランダム行列理論、マルチェンコ・パスツール則、最大固有値

一見ばらばらに見える膨大なデータに潜む、一貫した特徴を効率的に抽出するための方法論として、ランダム行列理論（RMT）を応用した研究事例が多数発表されている。昨今の計算機器の急速な発展にともない、金融の分野では膨大なデータを入手、整理できるようになってきている。この膨大なデータの利用方法としては、たとえば、過去のデータと将来のデータとの相関性を調べ、将来価格の予測に役立てるなどの活用方法が容易に考えつく。もし実際に、過去の価格データと将来の価格データとの間に、なんらかの関係性が常に存在するのならば、単純な将来価格予測以外にも、これまではリスク中立確率下で無裁定条件を満たすように計算されてきたデリバティブ価格の算出方法が抜本的に変化することになる。もちろんヘッジの方法も大きな影響を受け得る。そこで本研究では、ランダム行列理論を実際の金融データにあてはめ、時系列価格データに対する最大固有値のふるまいが、データサイズに応じてどのように変化するのかについて特に注目して調査した。

前回の研究調査（Random Matrix Theory application on financial data）では、各種仮想通貨、先進国間の為替データ、BRICS 為替データ、各種コモディティデータ、ボラティリティ・インデックス（VIX）、日本国債（JGB）、株価指数データについて、RMT に基づいて分析し、得られた固有値の分布と、理論分布（マルチェンコ・パスツール分布）との差異を、モーメントの観点で比較し、いずれの価格データについても、理論に近しい結果が得られることを確認した。この際の実験では、行列のサイズを小規模で一定に保ったうえで複数回計算し、分散などで結果のブレも考慮して評価している。これに対し本調査では、行列のサイズを変化させた場合に、複数得られる固有値のうち最大のものの振る舞いにフォーカスした。

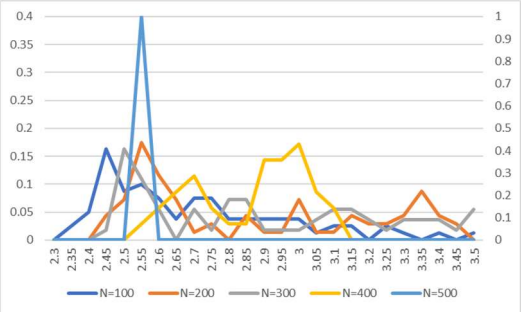


図1．時系列データから各種規模の行列の最大固有値を計算した結果。縦軸：最大固有値、横軸：時間、N=500 のみ右軸を利用している。

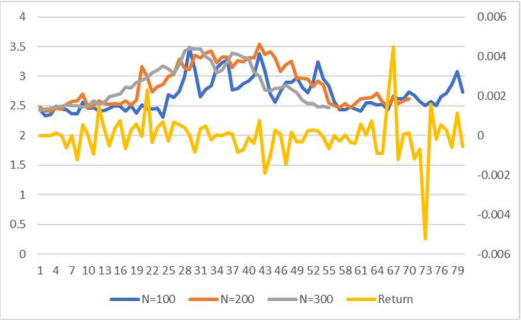


図 2．時系列データのリターン（右軸）と最大固有値

実験結果からは、価格データの規模を増大させると、最大固有値が理論値である（Q=3, 2.488）に収束している様子が見て取れる。また、同サイズの行列から得られる最大固有値が、時間の経過と共に変動する要因や、行列のサイズと最大固有値との関連性の理論的な整理についても研究を進め、近々調査結果をまとめる予定である。

[1] tkaneko@icu.ac.jp 国際基督教大学 教養学部 〒181-8585 東京都三鷹市大沢 3-10-2
[2] 野村証券株式会社

免疫及び抗体を考慮したエージェントベース感染モデル

千葉工業大学名誉教授　荻林成章

コロナパンデミックが発生して 2 年以上が経過し今なお人々の行動に影響を与えている。その原因として対策が行動制限とワクチン接種に偏っており、自然免疫の効果など真のメカニズムの理解に基づく対策がなされているとは言い難いことが挙げられる。そしてその背景には、従来からの方程式ベースの感染拡大収束のモデル (SIR モデル等) では感染確率と回復確率に関わるパラメータが導入されているのみで、自然免疫や抗体の効果などによる回復過程のモデル化がなされていないという事情がある。

一方、エージェントベースモデリング(Agent-Based Modeling；以後 ABM と略す)はボトムアップにマクロ現象をモデル化することが可能なため、実際のメカニズムと類似の原理で動作する人工社会をコンピュータ上に構築し、種々の要因を計算機実験によって解析することが可能である。そしてそれによりマクロ現象の真の生成メカニズムについての理解を深めることが可能である。パンデミック現象も例外ではない。パンデミックの拡大と収束は感染過程と回復過程の結果として生じ、ABM ではそれぞれをボトムアップに構築することが可能である。しかしながら、これまでのパンデミックに関する ABM モデルは、感染過程について地理情報と連成するなど精緻なモデルが開発されているものの、回復過程に関しては SIR モデルと類似の仮定がなされているものが殆どであり、回復過程も含めたボトムアップな ABM モデルは見られない。

本研究では、感染過程はランダム行動を仮定して簡素化し、一方回復過程に関しては医学的に衆知とされている知見に基づく仮定を行って、完全にボトムアップなパンデミックモデルを構築し、実現象の再現性を確認すると共に、自然免疫効果と抗体効果に関しては意図的に医学的知見に反する仮定を行った実験水準についても解析し、パンデミック収束に必要不可欠な条件を明らかにし、パンデミックの拡大と収束のメカニズムを明らかにするとともに、メカニズムに基づく合理的な対策を提案した。

本モデルの主な仮定は以下の点である。①感染とはウイルスの人から人への移転である。②回復とは免疫効果によるウイルス排除速度がウイルスの増殖速度を上回り、体内のウイルスが減少することである。③免疫効果は発熱によって増加するが、これは体外への排出速度が体内のウイルス数に比例して増加する

と仮定することによってモデルに取り込む。④抗体は感染後一定時間経過後もウイルス数がある値以上である場合に発生すると仮定し、抗体発生後のウイルス排出速度は抗体発生前に比べ大となる。⑤ウイルス増殖率は人によらず一定とし、ウイルス排出速度及び抗体発生までの期間は人それぞれ固有としてその値は仮定した平均値を中心に一様乱数で与える。

解析にあたっては、これらを全て仮定した実験条件を基本条件とし、それ以外にウイルス排出速度を一定（発熱の効果無視）と仮定した条件、及び抗体発生なしと仮定した条件を実験条件として追加した。

以上の実験条件での解析の結果次のことが明らかとなった。①感染拡大と収束の基本メカニズムは感染者と接触する確率が感染者数増加と回復者増加により累進的に増加、減少するためである。②新規感染者数、新規回復者数、感染者数の推移の特徴（各指標の時期的遅れやピーク時期等）は基本条件モデルにおいて再現された。③ウイルス増殖率がある値以上であればパンデミックは収束しない④抗体発生なしのモデルにおいても同様の傾向は再現されるが、パンデミック収束の上限のウイルス増殖率は低下する。⑤発熱効果なしと仮定したモデルの場合、同様の傾向はみられるもののパンデミックが収束するウイルス増殖率の下では感染者数は非常に少なく事実上パンデミックは発生しない。人口比で優位な数の感染者数の増加と減少という特徴を持つ実現象は再現されない。⑥基本条件でパンデミックが収束しない限界のウイルス増殖率の下では、一旦収束しかけた新規感染者数がある時点で再び増加してパンデミック非収束に至る。新規感染者数が減少から増加に転じる臨界点は、抗体生成後も免疫効果がウイルス増殖に追い付かない低免疫の人が感染した時であり、それ以降当該低免疫の人の体内でウイルスが無限に増殖するためパンデミックは収束しない。⑦感染時に移転されるウイルス数が少ないほど回復に要する時間は短い。

以上の結果より、次の点が結論づけられる。①パンデミック収束に必要不可欠な条件は発熱による免疫増加効果であり、抗体発生はパンデミック収束の限界ウイルス増殖率を押し上げる。ワクチンの効果もこの発熱効果が前提でありそれ自体は必須要件とは言えない。②パンデミックが収束する現実の感染拡大過程において重症化する人は、一度の感染であれば自然回復する人が感染に無自覚のまま複数回感染した人である。

以上より、行動制限による経済的ダメージを最小限に抑え、かつパンデミックの早期収束を図るために最も合理的な対策は、体温モニタリングによる感染者の識別と行動管理であといえる。この場合、体温が高いほどより多くのウイルスを体内に保有していると考えられるので、社会としての感染者識別には一定の

閾値（37.0℃や 37.5℃）による感染判断、個人としては平熱より体温が 0.5℃程度以上高ければ感染していると考えてそれ以上の行動を自粛する、ことが有効と考えられる。PCR 検査は陽性か陰性の判断となるのに対し体温はウイルス量の尺度と考えられ、体内ウイルス数が少ないほど他人を感染させる悪影響は小さくかつ早期に回復するため、感染者識別には PCR 検査より体温検査の方がより有効と考えられる。

図１基本条件における感染者数の推移、
（ウイルス増殖率：1.4～2.0）

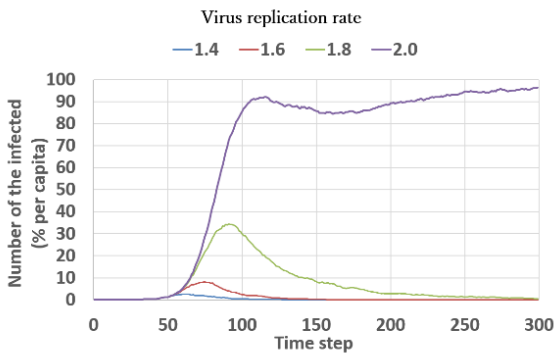
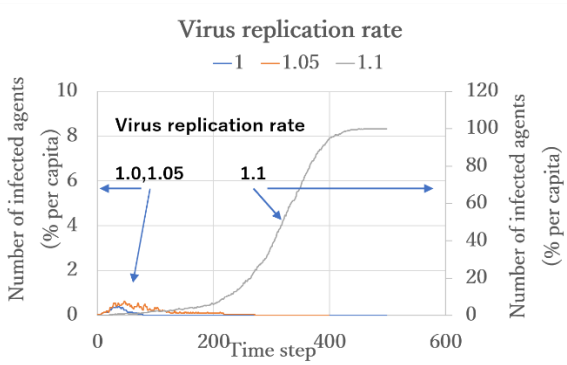


図２　発熱効果なしにおける感染者数の推移
（ウイルス増殖率：1.0～1.1）



貨幣の役割

中央大学　有賀裕二

今日、情報技術の急速な進歩に伴い、貨幣システムそのものが大きく変容しつつある。一方では、現在の貨幣システムの急速な劣化も見過ごせない。しかし、第二次世界大戦以降、暗号通貨が登場するまで、経済学は貨幣の役割、特に銀行システムの本質的なあり方を論じることへの関心を急速に失ってきた。本報告では、前世紀前半に主流派経済学が提唱したシカゴ・プラン（完全準備率制度）に始まり、同じプランを支持しながら内容の異なるノーベル賞化学者・フレデリック・ソディの見解について述べる。興味深いことに、シカゴ・プランもソディも完全準備率制度を熱狂的に支持し、貨幣と貸し出しの完全な分離を主張していた。当時から、主流派経済学においてさえ、銀行信用の膨張と収縮が実物経済を阻害することはよく認識されていたからである。ソディはアルファ崩壊とベータ崩壊の発見で 1921 年にノーベル化学賞を受賞している。彼の経済システムや富に対する考え方は、物質とエネルギーの保存則に根ざしている。これにより、経済学者以上に、彼は銀行融資に基づく仮想資産と本物の富の違いを認識することができた。銀行融資は保有預金額以上に貸し出せる「部分準備率制度」という特例で「銀行資産」として計上されるが、ソディは「銀行資産」が国富からの前借り（社会的留保分）であることを見抜いた。この観察を通じて、銀行が非対称な収益、つまり、本来、社会的留保資産であるものを私物化し、一方で、損失が発生する時、中央銀行からの融資を通じて、損失を社会化することを見抜いていた。なお、シカゴ学派以上に完全準備率制度に熱心であったアーヴィング・フィッシャー（エール大学）は名実ともに前世紀前半において全米で最も偉大な数理経済学者であった。しかし、フィッシャーは、利子率については主観的な時間選好率と結びつけて議論したため、ソディのような仮想富のアイディアには至らなかった。

[1] Allen RW.Irving fisher and the 100 percent reserve proposal.
Journal of Law and Economics, 36(2):703–717, Oct 1993.
[2] IWB.Central Bank Digital Currencies Are the Ultimate Tool of Financial Oppression, 2022.
[3] Jones RW.Comparative Advantage and the Theory of Tariffs: A Multi-Country,Multi-Commodity Model.　Review of Economic Studies, 28:161–175, 1961.
[4] Martens P, Martens R.　There’s a News Blackout on the Fed ’s Naming of the Banks that Got Its Emergency Repo Loans; Some Journalists Appear to Be Under Gag Orders,

By Pam Martens and Russ Martens: January 3, 2022, 2022.
[5] Paul R. Chapter 2: The origin and nature of the FED. In End the Fed. Hatchette Book Group/Grand Central Publishing, 2009/2010.
[6] Shiozawa Y. A new construction of ricardian trade theory a many-country, many commodity case with intermediate goods and choice of production techniques.
Evolutionary and Institutional Economics Review, 3(2):141–187, 2007.
[7] Shiozawa Y. International trade theory and exotic algebras. Evolutionary and Institutional Economics Review, 12(1):177–212, 2015.
[8] Soddy F. The Role of Money. George Routledge & Sons Ltd, London at Internet Archive.org, second edition (2015), 1934.

割合を丸めた数値から共通する分母を算出するプログラムの作成とその有用性の検討

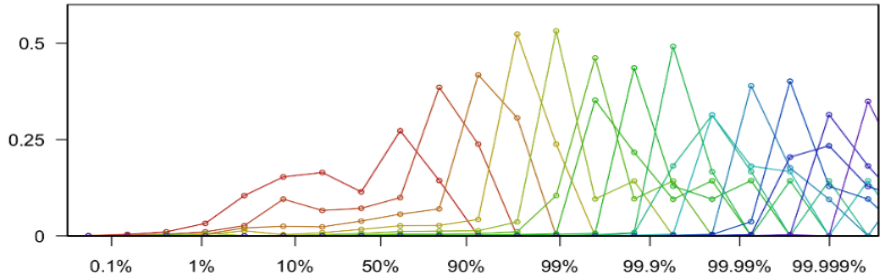
下野寿之（統計数理研究所 外来研究員）— 2023 年 1 月 19 日 本文書作成

「分母逆算器」であるコマンドラインプログラム denomfind を作成した。報告書や論文では、割合の数値を書き間違えたり分母が不明だったりする場合が少なからずあり、この問題を検出するために、その割合の近似値 1 個以上に対し(それらの全てもしくは指定個数の例外を許容して)共通する分母(自然数)の値の候補を小さい順に逆算する。

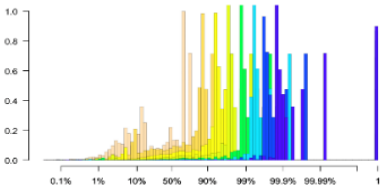
たとえば、14.3%という数が 1 つあれば、1/7 の四捨五入と見なして 7 という数を復元する。その上で、7 の倍数も逐次出力するし、それらの内 7 だけ出力する選択も用意している。分母が 7 の倍数の場合だけでなく、32/223=0.14398.. に対応した 223 などの候補も出力する。50%と 33%が与えられたら、それらに対して共通する分母を探索する。この場合は 6 の倍数の分母の場合と 40 や 46 や 52 などがあり、それらを小さい順に出力する。本プログラムは、四捨五入や切り捨てや切り上げ、偶数丸めや奇数丸め、さらには 23.45%→23.5%→24%のように四捨五入を 2 回してしまった場合にも対応する。63.3%と 54.5%と 13.3%と 10.3%の内 3 個以上に共通する分母である 196, 218, 240 .. などを探索することも可能である。そのために、denomfind は 多数のオプションスイッチを用意している。プログラムは Perl 言語で書かれており、cpan App::denomfind でインストールが出来る。GitHub のレポジトリ https://github.com/tulamili/App-denomfind に様々な資料と共に公開している。

では割合近似値を何個与えたら共通する分母が復元できる確率が高まるかを考えると、様々な興味深い知見が得られた。新しい数理的な理論を生み出すことが期待される。

割合近似値の個数 M が 1,2,..,16の各場合の元の分母が復元できる確率 yのヒストグラム



- 各Mに対し**100万回のモンテカルロ法**で y の値を計算。
- 横軸はyの値を表示であるが、**描画位置はロジット変換**。
- 左の赤系色から、右の青系色にかけて、Mが1ずつ増加。
- 16個のヒストグラムに対して:
  - 視認性の都合で折れ線グラフに置換。
  - ロジット値で整数で区切った。
- **分母復元確率**である y の値は**ほとんどの場合**:
  - Mが1増加するにつれ、ロジット値は約1増加する。
  - 割合近似値の個数 Mが1,2,3 の場合だと、 99%未満。
  - **M≧7だと99%以上。 M≧4でも90%以上。**



▲ M=1,..,8に対してヒストグラムを異なる色で描いて重ねた場合。
横方向はロジット値で0.2刻み。

微分可能性と予測可能性について

下浦　一宏（NPO 法人科学カフェ京都）

株式市場の予測において、テクニカル指標、システムトレード、AI など様々な手法が検討されてきたが、必ずしも成功しているとは言えない。その理由として従来の手法は、対象となる系が微分可能である事を暗に仮定しており、株価変動にはそれが成立しないことである。私がこれに気付いたのは、エリオット波動とワイエルシュトラス関数の類似性を見つけた時である。どちらもフラクタル性を持ち連続であるが、至る所で微分可能でない。

従来の計算機シミュレーションは物理法則を表す微分方程式を差分化してその時間発展や空間発展を追っていくのが一般的であった。気象予報などカオス性をもつ系でもこの手法は成功している。しかしながら系が本質的に微分可能でない場合、微分方程式は存在せず、少なくとも大域的な法則性は存在しない事になる。これに対応するため、トレーダーは次の３つのどれかを利用していると思われる。

１．　局所的な法則性

ごく短期的な資金の流れには法則性があり、デイトレーダーはこれを利用している。一部のテクニカルやシステムもこれを利用している。

２．　長期的な資金の流入

中央銀行が発行した貨幣は、やがて株式市場に流れ込み株価を押し上げる。また優れた経営を行っている会社の株価は上がる。インデックスファンドやファンダメンタル投資家はこれを利用している。

３．　ロングショート

相関ある銘柄のロングとショートを組み合わせる事により不規則な揺らぎをキャンセルし微分可能性を改善する。これによりテクニカルやシステムの適合性も改善される。一部のヘッジファンドはこれを利用している。

実際にダウと日経２２５の日足データ(2021.5.4-2022.11.11)で評価したところ、プロフィットファクター１．６５、フラクタル次元１．５程度の値が得られた。

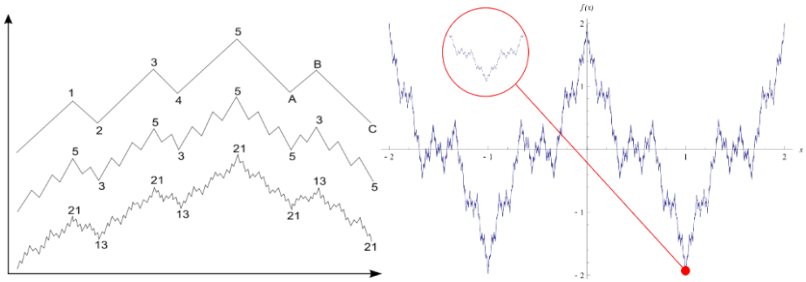


Fig.1 エリオット波動とワイエルシュトラス関数の類似性