

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) が 金融市場に及ぼすリスクの分析*

菅野 正泰†

要旨

本研究では、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の日本株市場に及ぼすリスクについて分析する。2021年3月現在、わが国における累積感染者数は475,343人に達する。COVID-19は、わが国において国民の生活様式や企業の経済活動に甚大な影響を与えており、企業価値の代理変数としての株価の変動を、COVID-19のリスクパラメーターである新規感染者数の増加率との相互連関の観点で捉える。最初に、東証第1部上場企業を都道府県別・業種別に分類した合成株価指数を開発する。次に、動学的条件付相関 (DCC)-多変量 GARCH モデルを使用して、わが国において COVID-19 が蔓延し始めた 2020年3月から 2021年3月末までの期間における合成株価指数と COVID-19 新規感染者数の増加率との DCC の推移について分析する。本研究は、今次コロナ危機下における地域・業種別の企業業績動向の観点で、株価指数の変動と COVID-19 の感染拡大との相互連関リスクを予測分析するものであり、パンデミック下の金融市場分析の研究に貢献する。

キーワード: COVID-19; 合成株価指数; 動学的条件付相関 (DCC); 多変量 GARCH.

JEL 分類コード: D53; G10; G28; C51.

* 本論文は一般財団法人ゆうちょ財団の 2020 年度研究助成制度の支援を受けて実施した研究の成果である。ここに謝してお礼したい。

† 日本大学商学部・商学研究科, e-mail: kanno.masayasu@nihon-u.ac.jp

1 はじめに

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19; SARS-CoV-2 ウイルスによって発生) は、未曾有のパンデミックを引き起こし、ジョンズ・ホプキンス大学の調査 (JHU, 2021) によると、2021 年 3 月 28 日現在、グローバルで累積死者数は約 2.77 百万人、累積感染者数は約 126 百万人に達する勢いであり、各国で大混乱を来している。

公衆衛生学では、感染は 3 種類、すなわち、エンデミック、エピデミック、およびパンデミックに分類されるが、感染の深刻度はこの順序で増加する。パンデミックは、エピデミックと類似した意味を持つが、グローバルな規模で最も深刻な影響を及ぼす感染症の大流行を指す (Vynnycky and White, 2010)。2020 年 3 月 11 日、世界保健機関 (WHO) は、COVID-19 をグローバルパンデミックとして宣言した。また、金融リスク管理の観点では、パンデミックは世界金融危機 (2007 年-2009 年) と同様にシステミックリスク^{*1}に属するため、システミックリスク管理を要する。

COVID-19 対策として、わが国政府は今日まで試行錯誤の政策を実施してきた。当該諸策の有効性には度々疑問の声が上がってきた。例えば、2020 年 5 月 4 日のプレス会議では、安倍晋三前首相は、抗インフルエンザウイルス薬アビガンの COVID-19 治療薬としての薬事承認を示唆したものの、2021 年 3 月末時点においても薬事承認が得られていない。一方、ワクチンに関しては、同 2 月 14 日にファイザー社に、同 5 月 21 日に武田/モデルナ社とアストラゼネカ社に対して薬事承認がなされ、同 2 月 17 日から医療従事者に対して先行接種が開始された。過去に発生したパンデミックである SARS (重症急性呼吸器症候群; SARS-CoV-1 ウイルスによって、2002 年に中国南部の広東省を起源として発生) や MERS (MERS-CoV ウイルスによって、2012 年に中東で発生) のワクチンが開発されなかったのに対して、COVID-19 のワクチンは今後の COVID-19 感染拡大抑制に期待されるが、本研究で考慮するデータ期間にはワクチン効果は織り込まれていない。

2020 年 4 月 7 日、安倍前首相は第一回目の緊急事態宣言を発令し、わが国経済が第 2 次大戦以来の最悪の危機に直面していると表明した。また、同 5 月 4 日、感染抑制の準備にはもう少し時間を要するというコメントに従い、緊急事態宣言は更に 1 カ月延長された。しかしながら、同 5 月 14 日には、緊急事態宣言は 39 道府県で解除され、その日は新しい日常生活に回帰するスタート日として刻まれた。同 5 月 25 日、安倍前首相は、「日本ならではのやり方で、わずか 1 カ月半で流行をほぼ収束させることができた。日本モデルの力を示した」と強調し、緊急事態宣言は完全解除された (出所: 2020 年 6 月 13 日の日本経済新聞)。更に、新型コロナウイルス専門家会議もまた同 6 月 24 日に廃止された。しかしながら、その後、東京都新宿区の夜の歓楽街での遊興に端を発する感染拡大第 2 波のおかげで、広範囲の年齢層で感染者数が急速に増加した。

2021 年 3 月末現在、COVID-19 の感染拡大の収束の見込みはないが、わが国政府の COVID-19 対策を評価することは、本研究の目的ではない。しかしながら、COVID-19 がわが国金融経済に

^{*1} 菅野 (2014) は、「金融システム全体あるいは一部の障害により顕現化し、实体经济に深刻な負の結果をもたらす潜在性を保有する、金融サービスのフローを途絶するリスク」と定義している。

与えた影響は世界金融危機よりもはるかに大きくなる可能性は否定できない。こうした現下の状況を鑑み、本研究では、わが国の株式市場の動向を通して、地域別・業種別に COVID-19 が企業に与えた影響を分析することを目的とする。地域別の視点からは、COVID-19 の感染拡大状況が都道府県単位で大きく異なり、また、関連データが都道府県別に集計されており、その対比で企業業績の代理変数である株価との相関分析を行うためである。

グローバルな視点では、例えば、2020 年 11 月 6 日現在、2021 年 3 月期のトヨタ自動車の営業利益は 46% 減少すると予想された（結果的には、その後の持ち直しにより、-10.0% の減少に留まった。）。この傾向は他の自動車製造企業にも当てはまり、多数の子会社、孫会社、および関連会社を抱える自動車産業への影響は甚大である。

対照的に国内経済では、直近のデータでみると、2020 年 1 月以降の累計として、COVID-19 関連倒産が 1,661 件発生し、その内訳は 1,526 件の法的整理、135 件の事業停止となっている。業種別ランキングで見ると、飲食店（275 件）が最も多く、建設・工事業（162 件）、ホテル・旅館（97 件）、食品卸（89 件）で続く。建設・工事業は飲食店・小売店の休業や倒産増の影響によるほか、近時は資材の高騰・調達難の影響が大きい（帝国データバンク、2021）^{*2}。COVID-19 危機の収束が未だ見えない中で、その影響は益々長期化している。

したがって、本研究では、地域企業経済の代理変数としての都道府県・業種別の株価指数を合成し、その変動について、COVID-19 のリスクパラメーターの新規感染者数増加率との相互関連性の観点からリスク分析する。ここで、COVID-19 との相互関連を分析する上では、業種別の視点が必要であることは言うに及ばず、加えて、COVID-19 関連データの集計区分を考慮する必要がある。すなわち、現在、COVID-19 関連統計データは都道府県別に集計されている一方、都道府県別の株価指数データは公表されていないため、本研究では、東証業種株価指数（33 業種区分）を基に、当該指数を構成する企業の本社所在地で区分した、都道府県・業種別の株価指数を合成するアイデア^{*3}を採用する。

本研究に着想した別の視点では、COVID-19 の感染拡大が進む中、世界中の金融研究者は金融市場経済に対する COVID-19 の影響について多大な関心を寄せている。こうした研究者の中には、学術雑誌で COVID-19 関連特集を組む者もでてきており、多くの研究者に社会的貢献を呼び掛けているという背景がある（Goodell, 2020）。COVID-19 危機は、医学者・医療関係者のみならず、経済・金融学者が協力して乗り越えなければならない人類共通の課題という認識の下、本研究を実施する。

2 節では、既存研究のレビューを行う。3 節では、本研究で使用する分析アプローチとデータについて検討する。4 節では、分析結果を提示し議論する。最後に、5 節で結論を述べる。

^{*2} 原則的に COVID-19 が倒産要因となったことを当事者あるいは代理人弁護士が認め、法的整理あるいは事業停止に至ったケースが対象となっている。個人事業主および負債 1,000 万円未満の倒産もカウントの対象（当社が定例的に行う統計調査の全国企業倒産集計は、負債 1,000 万円以上の法的整理を集計対象としている。）としているほか、事業停止後に法的整理に移行した場合、法的整理日を発生日としてカウントされている。

^{*3} そのほか、事業所所在地別、製品・サービスの主たる販売・提供地別など、分類の切り口はさまざま考えられるが、データベースの整備を考慮すると、これら分類は現実的ではないので、将来の課題とする。

2 文献レビュー

金融ファイナンス分野では、COVID-19 の感染拡大以前は、パンデミック関連の既存研究は、ほとんど知られていなかった。パンデミックはマクロ経済に深刻な影響を及ぼす一種のマクロストレスであるものの、COVID-19 のように金融経済にグローバルな影響をもたらすパンデミックは過去発生していない^{*4}。一方、感染症としてのパンデミックの研究は、これまで長きにわたり行われてきており、Vynnycky and White (2010) は、感染症の数理モデルの基本書である。また、Kiss ほか (2018) は複雑ネットワークを介して、ヒトからヒトへのウイルスの伝播に基づく感染の数理モデルを解説する。

パンデミック研究ではないが、感染症の数理モデルを使用した金融研究は、COVID-19 の感染拡大以前から幾つか行われてきた。例えば、Kanno (2015) は、Susceptible-Infected-Recovered-Dead (SIRD) モデルを適用して、世界金融危機後のわが国金融システムにおける連鎖破綻について分析した。SIRD モデルは、感染症の典型的な数理モデルである Susceptible-Infected-Recovered モデルに死亡 (Dead) 状態を付加したものであるが、Kanno (2015) は銀行の破綻状態を Dead 状態として考慮した。

COVID-19 が蔓延した 2020 年から 2021 年にかけては、金融ファイナンス分野においても、一部のジャーナルを中心として特集が組まれるなど^{*5}、短期間に幾つかの論文が発表されている。^{*6}

わが国企業・市場の関連では、菅野 (2020) は、COVID-19 感染拡大初期に影響が甚大であった北海道、東京都、および大阪府の特定業種（サービス業、小売業、輸送用機器、繊維製品、空運業、および医薬品）について、都道府県別かつ業種別に合成した株価指数と感染者数（入院等の患者数）の関係を相関分析した。Kanno (2021a) は、本研究の原型となる研究であるが、COVID-19 新規感染者数の日次差分と株価収益率との関係を動学的条件付相関 (DCC) 型多変量 GARCH モデルを使い、2020 年 10 月中旬までの期間における相互関連性を分析した。また、Kanno (2021b) は、わが国の COVID-19 感染拡大状況を SIRD モデルでモデル化し、モデルから COVID-19 の感染リスクパラメーターの基本再生産数を日々計算し、COVID-19 の感染拡大状況と企業の信用リスクの相互関連性を複雑ネットワーク理論を使い分析した。

国内外の株式市場の観点では、Goodell and Huynh (2020) が 2019 年 12 月 9 日から 2020 年 2 月 28 日までの 49 業種のアブノーマルリターンを分析した。Shehzad ほか (2020) は、漸近的べき型 GARCH モデルを採用し、COVID-19 は米国と日本の株式市場にかなりの影響を与えていることを明らかにした。Mazur ほか (2021) は、COVID-19 を起因とする 2020 年 3 月の世界的な株式市場のクラッシュ時の米国株式市場のパフォーマンスを調査した。Akhtaruzzaman ほか (2021)

^{*4} パンデミックインフルエンザ (H1N1) が 2009 年から 2010 年にかけて世界的に流行し、感染者数 60.8 百万人、米国の入院者数 195,000 人から 402,000 人、推定死者数 284,000 人とされるが、世界経済への影響は限定的であった (Wu and Olson, 2020)。

^{*5} 例えば、Finance Research Letters, Research in International Business and Finance, および International Review of Financial Analysis (何れもエルゼビア社発行) などが挙げられる。

^{*6} 以下の文献が特集による発行であるかは定かでない。

は、中国と G7 諸国の株価収益率間の DCC が、金融機関・非金融機関を問わず、COVID-19 期間中に相当程度増加したことを示した。Zaremba ほか (2020) は、非製薬企業の介入がかなり株式市場のボラティリティを増加させることを示した。Ashraf (2020) は、2020 年 1 月 22 日から 2020 年 4 月 17 日迄の期間に対する 64 カ国の COVID-19 の日次ベースの確定感染者数と死者数および株式市場データを使い、株式市場の COVID-19 の反応を調査した。Okorie and Lin (2021) は、株式市場への COVID-19 のフラクタルな連鎖の影響を調査した。

3 分析アプローチとデータ

本研究は、DCC に基づき、企業業績の代理変数としての地域別業種別株価指数の収益率に対する COVID-19 のインパクトを分析する。

3.1 分析アプローチ

■**合成株価指数** 東証株価指数 (TOPIX) を構成する企業の株価を使用して、都道府県別株価指数を合成する。現在、TOPIX はわが国全体の経済動向を表す代表的な株価指数として使われている。TOPIX の算出対象は、東証第 1 部に上場する内国普通株式全銘柄であり、1968 年 1 月 4 日現在の時価総額を 100 として計算され、以降の全時価総額が指数化されている (東京証券取引所, 2020)。

また、東証株価指数 33 業種は、TOPIX を 33 業種に分類した株価指数である (付録 A 表 8)。各企業を業種および本社所在地の都道府県に再割り当てすることで、都道府県別かつ業種別に調整した株価指数の開発が可能となる。

現在、世界の株価指数の太宗は、TOPIX, S&P500 種株価指数、米ナスダック総合指数のように、時価総額で加重した指数である。時価総額で加重するということは、上場株式の時価総額の合計値は、ある時点の当該指数の時価総額 (企業価値を表す数値。株価に上場株式数を掛けて計算される。) の合計で割って計算される。この数値は、計算時点で時価総額がどれだけ増減したかを表すために、過去時点における価値と比較される。そのため、資産としての株式の価格変化を表す。

時点 t における都道府県 i 、業種 j の合成株価指数 $Index_{i,j,t}$ の計算式は次式となる。

$$Index_{i,j,t} = \frac{\sum_{k \in K_{i,j}} l_{k,t} P_{k,t}}{\sum_{k \in K_{i,j}} l_{k,0} P_{k,0}} \times SV_{i,j,0} \quad (1)$$

ここに、 $l_{k,t}$ および $P_{k,t}$ は、それぞれ、発行済調整株式数^{*7}と、時点 t において、都道府県 i 、業種 j に属する企業 k の株価である。 $SV_{i,j,0}$ は時点 0 における都道府県 i 、業種 j に関連した指数の基準値である。

^{*7} この数値は基本的に発行済株式数と同じであるが、株式分割や日本電信電話株式会社や日本郵便株式会社など、政府保有株式がある場合には同じとならない。

■**動学的条件付相関** 動学的条件付相関 (DCC) を計算するために, Engle (2002) が提示した多変量 GARCH モデルを導入する. このモデルは動学的多変量回帰モデルであり, 条件付誤差分散と共分散が自己回帰移動平均構造に従う. DCC 多変量 GARCH モデルは, 条件付誤差共分散行列をモデル化するために, 時間変動の交差方程式のウェイトを持つ 1 変量 GARCH モデルの非線形結合を使用する.

DCC 多変量 GARCH モデルでは, DCC は次式で定義される.

$$\rho_{ij,t} = \frac{h_{ij,t}}{\sqrt{h_{ii,t}h_{jj,t}}} \quad (2)$$

ここに, $h_{ii,t}$ および $h_{jj,t}$ ($i, j = 1, 2, \dots, m, m$: 従属変数の数) は, $m \times m$ の攪乱項の時間変動条件付共分散行列 \mathbf{H}_t の対角成分で 1 変量 GARCH 過程に従い, $h_{ij,t}$ は行列 \mathbf{H}_t の非対角成分の非線形関数である. $\rho_{ij,t}$ は動学的過程に従う.

DCC 多変量 GARCH モデルの詳細は, 以下の通りである (Engle, 2002).

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_t &= \mathbf{C}\mathbf{x}_t + \boldsymbol{\epsilon}_t \\ \boldsymbol{\epsilon}_t &= \mathbf{H}_t^{1/2}\boldsymbol{\nu}_t \\ \mathbf{H}_t &= \mathbf{D}_t^{1/2}\mathbf{R}_t\mathbf{D}_t^{1/2} \\ \mathbf{R}_t &= \text{diag}(\mathbf{Q}_t)^{-1/2}\mathbf{Q}_t\text{diag}(\mathbf{Q}_t)^{-1/2} \\ \mathbf{Q}_t &= (1 - \lambda_1 - \lambda_2)\bar{\mathbf{R}} + \lambda_1\tilde{\boldsymbol{\epsilon}}_{t-1}\tilde{\boldsymbol{\epsilon}}'_{t-1} + \lambda_2\mathbf{Q}_{t-1} \end{aligned} \quad (3)$$

ここに, \mathbf{y}_t は $m \times 1$ の従属変数ベクトル (m : 従属変数の数), \mathbf{x}_t は $n \times 1$ の独立変数ベクトル (n : 独立変数の数), \mathbf{C} は $m \times n$ のパラメーター行列, $\mathbf{H}_t^{1/2}$ は時間変動の条件付共分散行列 \mathbf{H}_t をコレスキー分解した行列, $\boldsymbol{\nu}_t$ は正規独立同一分布に従う変数ベクトルである. \mathbf{D}_t は条件付分散 $\sigma_{k,t}^2$ ($k = 1, 2, \dots, m$) を対角成分とする対角行列で, $\sigma_{k,t}^2$ は次式の 1 変量 GARCH モデルに従う.

$$\sigma_{k,t}^2 = \exp(\boldsymbol{\gamma}_k\mathbf{z}_{k,t}) + \sum_{l=1}^{p_k} \alpha_l \epsilon_{k,t-l}^2 + \sum_{l=1}^{q_k} \beta_l \sigma_{k,t-l}^2 \quad (4)$$

ここに, 系列 k に対して, $\boldsymbol{\gamma}_k$ は $1 \times p$ のパラメーターベクトル, \mathbf{z}_k は $p \times 1$ の定数項を含む独立変数ベクトル, ϵ_k は平均 0, 分散 1 の標準化した攪乱項, α'_l は ARCH パラメーター, および β'_l は GARCH パラメーターである. p_k と q_k は, それぞれ ARCH 項と GARCH 項のラグ数である. \mathbf{R}_t は条件付疑似相関行列 ($\rho_{ij,t}$) $_{1 \leq i, j \leq m}$, $\tilde{\boldsymbol{\epsilon}}_t$ は $m \times 1$ の標準化残差ベクトル $\mathbf{D}_t^{-1/2}\boldsymbol{\epsilon}_t$, \mathbf{Q}_t が定常ならば $\bar{\mathbf{R}}$ は $\tilde{\boldsymbol{\epsilon}}_t$ の非条件付共分散行列の加重平均, および λ_1 と λ_2 は条件付疑似相関の変動を統制する非負のパラメーターで, $0 \leq \lambda_1 + \lambda_2 < 1$ を満たす.

Stata 17 を使って DCC GARCH モデルを推定するため, 平均方程式における ARCH 項の p_k と GARCH 項の q_k , 定数項の有無, および誤差分布の仮定 (正規分布か t 分布の選択) を設定する必要がある. 更に, 多変量回帰モデルの最適化アルゴリズムの観点で, Berndt-Hall-Hall-Hausman (BHHH) アルゴリズムを採用する. 最大反復回数は 5,000 回, 収束許容値のパラメーターはデフォルトに設定する (Gould ほか, 2010). 計算負荷を軽減するために, モデルの従属変数として,

COVID-19 の 7 日間移動平均日次増加率の他に、7 ないしは 10 業種の株価指数日次収益率をグループ化して最適化する。

3.2 データ

■**株価データ** 本研究は、DCC を計算するために十分な日次データを必要とする。この目的のために、株価時価と当該企業の発行済株式数を入手するためにプロネクサス社の eol データベースが使用される。TOPIX 構成企業は 2020 年 3 月末現在 2,169 社ある。

東証第 1 部上場企業の本社は、大概、東京に集中しており（集中度 68%）、あらゆる業種の企業の本社が所在するのは東京に限られる。一方、東京都以外の道府県においては、当該道府県特有の業種の企業業績を反映した株価収益率の変動と COVID-19 の感染者数の増減率との関係を調べる事が可能となる。東証第 1 部は主として大企業から構成されるが、製造業のような業種の企業は、必ずしも従業員が本社に集中しているわけでもない。しかしながら、本社所在地に人的資源を集中することは、COVID-19 と当該地域の企業の株価変動との関係を理解する上で利用できる数少ない方法の一つであることに留意したい。

分析対象は COVID-19 の影響により倒産あるいは事業停止に追い込まれた企業が多数存在する業種、特に、COVID-19 により需要が大きく減退した「輸送用機械・器具製造業」や「航空運輸業」のほか、「旅館・ホテル」（東証 33 業種の区分ではサービス業に含まれる）、「飲食店」（33 業種の区分では小売業に含まれる）、「アパレル・雑貨小売店」（33 業種の区分では、それぞれ繊維製品と小売業に含まれる）が該当する。こうした信用調査機関の設定する業種分類は、必ずしも東証株価指数 33 業種と完全に一致するわけではないが、上場企業の業種分類である東証株価指数 33 業種と紐づけが可能である。対照的に、COVID-19 の感染拡大の緩和に貢献が期待される産業である製薬会社（東証 33 業種の区分では医薬品に含まれる）も含まれており、ワクチンや検査機器を開発し、業績の向上が期待される。要約統計量を表 1 に示す。ルート t 倍法で 1 年 250 営業日を仮定し、株式市場の収益率のボラティリティを年率で求めると、27.8% というボラティルな数字が得られた。

表 1: 2020 年 1 月 6 日～2021 年 3 月 31 日間の日次収益率の要約統計量

変数	観測数	Q1	Q2	Q3	Q4	平均値	標準偏差
株式市場収益率	2169	-1.45%	-0.04%	1.30%	952.67%	-0.01%	1.76%
東証 33 業種収益率	33	-0.92%	0.00%	0.98%	19.30%	0.04%	1.86%

注: Q1 から Q4 は、それぞれ第 1 四分位数から第 4 四分位数を表す。

■**COVID-19 データ** わが国における COVID-19 関連統計では、2020 年 3 月中旬から同 5 月 7 日までは、都道府県から「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律」（通称、感染症法）第 12 条に基づいて報告された感染状況を厚生労働省が精査した上で公式発表されていた。

しかしながら、同5月8日からは、都道府県が独自に発表した数字を積み上げる形で公式発表されている。この基準変更によって前日との継続性がない日は新規増減を0と見なすなど、集計処理が行われている（東洋経済オンライン編集部, 2021）。

図1は、都道府県別の日々の新規感染者数を表しており、曜日に応じた数値であることがわかる。曜日別の検査数に大きな変動があるため、分析では新規感染者数カーブの平滑化のために7日間移動平均をとる。更に、相関分析を実施するために、日次株価指数収益率に対応して、新規感染者数の7日間移動平均の日次増加率を計算する。ただし、前日に平均がゼロの翌日の増加率は0とする。

累積感染者数が多い都道府県として、北海道、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、愛知県、京都府、大阪府、兵庫県、および福岡県の10都道府県に注目し、COVID-19感染拡大リスクの株式市場への影響を分析する。

北海道では、2020年当初、感染は中国人旅行者に集中していたものの、複数のクラスター後まもなく、患者数の大規模増加が歓楽街を要する札幌市で発生した。東京都と首都圏の埼玉県、千葉県および神奈川県は、いうまでもなく、日本経済の中心であり、東証第1部の企業の多くが集中している。大阪府は関西圏の商工業の中心であり、大企業が近府県より集中している。また、大阪府は人々が密集する歓楽街が多くあり、その結果、多くの入院感染者の発生地域でもある。京都はわが国を代表する観光地であり、兵庫県は国際都市神戸市を要する国内外の往来が活発な地域である。福岡県は九州地方の最大の商業圏である。

4 分析結果と考察

本節では、実証分析の結果を示す。表2は都道府県別・業種別の日次株価指数収益率の要約統計量を示す。当該企業の約39%に相当する854社は、東京都に本社を置き、第2位の大阪府には206社が本社を置き、第3位の愛知県には107社が本社を置く。合成指数収益率の全国平均は0.0029%で、10都道府県（計192業種）の指数収益率の平均は0.4380%である。この差は、2020年3月のCOVID-19感染拡大による世界的な株価の下落から、その後の株価回復が、選択した10都道府県の方が残された県よりも遥かに大きいことを示している。

表3から表7に、DCC多変量GARCHモデルの最適化の結果を示す。各表中の業種名は、表8の英語名（ショート）を指す。最適化において平均方程式の定数項を無しの設定で、また、式(4)における誤差分布を正規分布あるいはt分布に仮定して、ARCH項に対して $p = 2, 1, 0$ 、GARCH項に対して $q = 1, 0$ を指定して*⁸、ラグ数を減らす方向にしらみつぶし探索を実施した。最適化されたモデルは、表3から表7のヘッダーに示す。

最適化の結果、新規感染者数が時期によって少ない都道府県のモデルの中には、7日間移動平均をとっても、その増加率がゼロにならないまでも僅少で、一旦増加傾向に転じると、通期でみると相当ボラティルな推移であるため（原データの段階で相当程度ボラティルであることは、図1を見

*⁸ $p_k = 0, q_k = 0$ は、式(4)において、それぞれARCH項あるいはGARCH項がないケースに対応する。

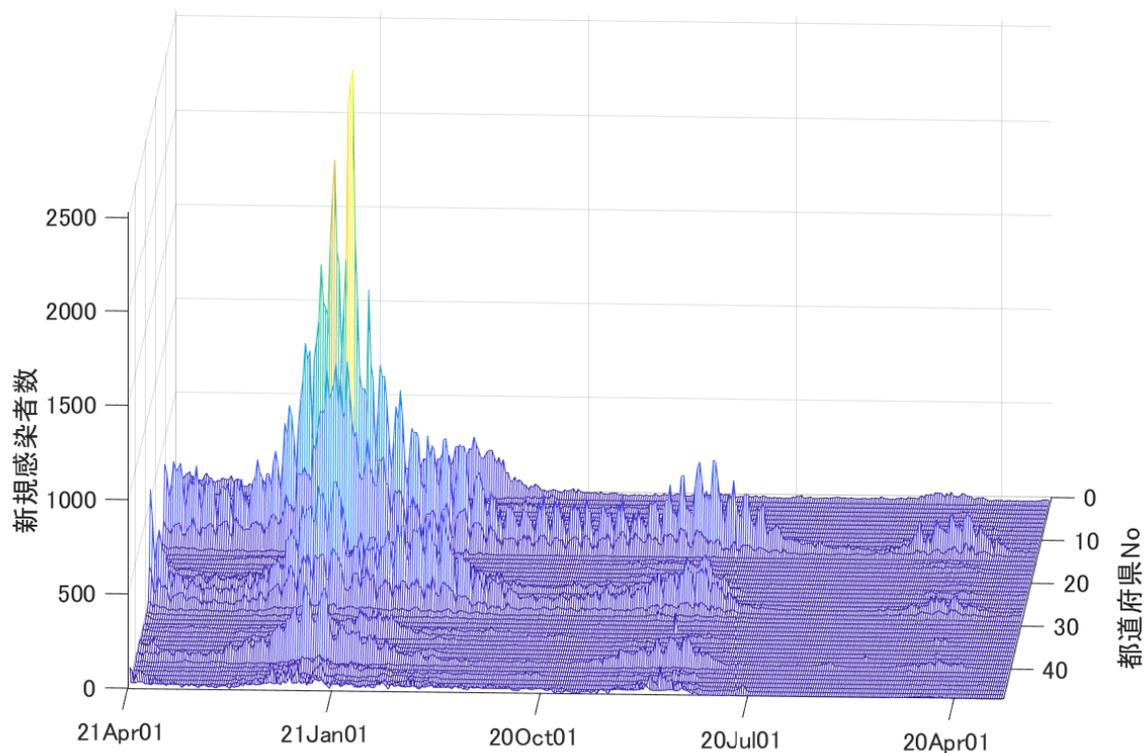


図 1: 都道府県別 COVID-19 新規感染者数の日次推移 (2021 年 3 月末迄)

データソース: 都道府県からの報告を厚生労働省が精査後公表したデータ (2020 年 5 月 7 日迄), および都道府県が独自に発表したデータ (2020 年 5 月 8 日以後) を東洋経済オンライン編集部で集計したデータセット.

注: 都道府県 No; 1: 北海道; 11: 埼玉県; 12: 千葉県; 13: 東京都; 14: 神奈川県; 23: 愛知県; 26: 京都府; 27: 大阪府; 28: 兵庫県; 40: 福岡県.

れば予想できよう.), GARCH 項のないモデルしか最適化できないケースが幾つか生じた*9. 頑健性のチェックの観点では, 表 3 から表 7 のヘッダーに誤差分布の仮定 (正規分布あるいは $t(3)$ 分布) と, 平均方程式の係数が全てゼロという帰無仮説に対するモデルの適合度を調べるためのワルド検定の結果を示す. ワルド検定の結果, 全てのモデルで有意水準 1% で統計的有意にあることが示された. また, モデルの各変数の係数の統計的有意性について, 表 3 から表 7 に結果を示す. 有意水準 1%, 5%, あるいは 10% で統計的有意を示す係数が多い結果となった.

図 2 から図 4 は, 10 都道府県における都道府県別業種別株価指数の日次収益率と COVID-19 新

*9 そのような地域のモデルでは, BHHH アルゴリズムのほかに幾つかアルゴリズムを適用し, 最大反復回数を引き上げてみたものの, GARCH 項のあるモデルでは最適化が達成されていない.

規感染者数の7日間移動平均増加率間のDCCを示す。各パネルに見られるように、DCCは、都道府県と業種によって、正あるいは負の水準で推移したものと正負に大きく振れたものに分かれており、多くの都道府県・業種でボラタイルな変動が見られた。したがって、DCCが正あるいは負の水準でほぼ一貫して推移した都道府県・業種と、特徴的に大きく変動した都道府県・業種について検証した結果を以下に示す。

北海道(図2)では、小売業が2020年3月の感染拡大の時期からDCCが最も高水準で推移した。すなわち、北海道の小売業には、ニトリホールディングスやイオン北海道のような家具店や大規模スーパーマーケットが最初の緊急事態宣言下でも営業して業績を伸ばすことが可能であったためである。こうした企業には平時よりも顧客が来店し、株価が増加した。

埼玉県(図2)では、DCCが正で推移する業種と負で推移する業種に2分化され、食料品、電気機器、情報通信、陸運、小売業などは、一貫して正の水準で推移した。これら業種は、在宅勤務による需要増が見込まれる業種である。一方、鉄鋼、銀行、およびサービス業などでは、DCCは一貫して大幅に負で推移しており、コロナ禍による需要減が大きく響いた。特に鉄鋼は、2020年上期においては感染拡大の影響を受け、鉄鋼需要が急激に減少し、下期になっても、DCCは-10%前後で低位に推移した。

千葉県(図2)では、2020年3月の感染拡大時期こそ、電気機器のDCCが飛びぬけて大きく正に触れたものの、その後は全業種とも一貫して負の水準で推移した。特に食料品と不動産では、DCCの水準は2020年6月まで急激に低下し、その後も-12%から-5%の間で大幅に負の状態に推移した。

東京都(図3)では、食料品、医薬品、情報通信、および保険業などの業種が、ほぼ一貫して正の高水準で推移した。リモートワークやCOVID-19による医療や保険のニーズ増を反映したものである。特に医薬品に関しては、2020年3月の感染拡大期より、DCCは10%超から20%超の間で高水準で推移した。対照的に、繊維製品、鉄鋼、空運などの業種では、リモートワークによる衣類の需要減、自動車メーカー等の需要減、あるいは出入国制限措置などが大きく影響した。また、電気・ガス業は、2020年下期から、DCCが-10%から20%までほぼ一貫して上昇しており、リモートワークによる住居用ガスの需要増などが貢献した。

神奈川県(図3)では、2つ目と3つ目のモデル(何れもARCH(1) GARCH(1), t(3)分布)において、2020年3月の世界的な株価暴落時にDCCの大きな変動が見られたものの、その後は一定水準に収斂した。化学、陸運、卸売業などで、DCCは、ほぼ一貫して正の値で推移した。これに対して、金属製品、食料品、サービス業、倉庫・運輸関連業など多くの業種で負の水準で推移した。

愛知県(図3)では、ゴム製品、倉庫・運輸関連業、卸売業などで、DCCはほぼ一貫して正の値で推移した。これに対して、トヨタ自動車に属する輸送用機器では、DCCはほぼ一貫して負の水準で推移した。なお、ゴム製品を構成する企業は住友理工の1社のみであり、トヨタ自動車向け自動車用ゴム製品のほか、各種建築物向け制震システムなど広範な事業展開を行っている。2020年初から3月にかけて、感染拡大の影響で自動車販売の低下を受け、当社の株価は大きく下げたものの、その後は横ばいから微増傾向に転じたため、ゴム製品のDCCは正の値で推移したことになる。

京都府(図3)では、2つ目のモデル(ARCH(1,2) GARCH(1), t(3)分布)において、2020年

3月の株価暴落時にDCCは何れの業種でも大きな変動が見られたものの、その後は一定水準に収斂した。情報通信、倉庫・運輸関連業、および陸運などで、2020年3月の感染拡大期には、一時大きな変動があったものの、その後は一貫して正の値で推移した。宅配便の子会社を要する佐川ホールディングスは陸運業を代表する企業であるが、リモートワークの需要増を反映した。また、食料品等でも、ボラティルな変動を示しながらも、DCCはほぼ一貫して正の値で推移した。

大阪府(図4)では、COVID-19の第2波を2020年6月14日から9月21日と定義している。第2波が始まった6月中旬は、合成株価指数は多くの業種で上昇傾向に転じており、ほぼ全業種でDCCが正の拡大方向に大きく振れ、DCCの相関予測が顕著に表れた時期である。輸送用機器、精密機器、電気・ガス業などの業種で、リモートワークやステイホームなどによる需要増を反映して、DCCはほぼ一貫して正の値で推移した。対照的に、ガラス・土石製品、陸運、小売業、倉庫・運輸関連業などでは、DCCは一貫して負の値で推移した。繊維製品は、2021年1月以降、DCCが大きく増加し、COVID-19関連需要を見込んだ。

兵庫県(図4)では、化学や輸送用機器を始めとして多くの業種で、DCCが負の水準で推移した。卸売業は、2020年11月上旬より正に転化した。

福岡県(図4)では、電気機器、電気・ガス業、不動産業など一部の業種では、一貫して正の水準で推移したが、残りの多くの業種では、負の水準で推移した。特に、陸運業は負の水準で推移しており、COVID-19の影響で需要減となる企業が見られた。

上記の分析結果を考慮し、DCC GARCHモデルの適用の限界に触れたい。本研究では、COVID-19感染リスクパラメーターとして7日間移動平均の増加率を採用した。このデータ処理は、曜日に応じた新規感染者数の変動を平滑化する観点では、一般的に行われている処理である。一方、DCC GARCHモデルを使用する場合には、確率過程の異なる変数間の条件付分散に対する自己帰帰過程を考慮することになるため(式4)、感染拡大が急激に進展する場合には、最適化がうまくできない可能性がある。

5 結論

本研究は、わが国におけるCOVID-19感染者データが取得可能な2020年3月中旬から2021年3月末までの期間において、わが国企業の株価とCOVID-19感染者数増加率とのDCCを分析した点で、金融ファイナンス研究に貢献した。第1に、東証第1部に上場する全ての内国普通株式のデータを使用して、都道府県別かつ業種別の株価指数を開発した。この合成株式指数は、今次コロナ危機における地域経済状況を業種別に表す指標としての役割を果たす。第2に、COVID-19の感染拡大が顕著な都道府県に本社を置く企業の業績の代理変数としての合成株価指数収益率とCOVID-19感染者数増加率との動学的相関を、DCC多変量GARCHモデルを使って分析した。DCCは感染拡大期に増加傾向に転じるなど、一定の相関予測力を示した。この分析により、地域・業種別に株価変動に対するCOVID-19の影響を可視化する事が可能となり、パンデミックリスク管理に関連した金融研究に貢献した。

COVID-19感染拡大からそれほど時間が経過していないため、本研究で使用した金融関連デー

タについては、データ量の確保の観点から、日々の株価データに制約された。将来の研究として、企業財務データ、マクロ経済データや株式以外の各種金融証券データの活用が期待される。また、基本再生産数や実行再生産数など、COVID-19 感染対策に利用されているリスクパラメーターを推計し、金融市場との相関予測する研究を今後の課題としたい。

業種	19	20	21	23	26	27	28	29	32	33	2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
観測数	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	7	14	4	4	5	11	2	34	1	7	1	1	3	2	15
Q1	-11	-10	-12	-12	-10	-6	-9	-11	-13	-13	-7	-10	-9	-11	-8	-11	-9	-8	-16	-9	-10	-13	-9	-10	
Q2	1	-0	-2	0	1	1	-0	1	0	0	-0	-1	-1	-0	-1	1	1	-0	-0	-0	0	-1	1	-1	
Q3	12	12	12	15	11	7	8	13	15	15	7	9	8	13	8	9	11	8	14	9	9	11	12	13	
Q4	63	97	94	166	97	78	63	77	95	65	56	87	67	75	60	94	68	83	101	145	80	101	62	75	
平均値	1	-0	-1	0	-0	-0	-0	1	1	-0	-0	-0	-0	0	0	0	-0	-0	-1	1	-0	0	1	1	
標準偏差	18	25	24	47	23	21	16	22	29	25	14	18	19	21	15	18	23	16	25	21	19	23	17	18	
都道府県	27	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30	31	33	2	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	
業種	18	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30	31	33	2	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	
観測数	3	11	1	2	2	7	4	33	22	2	2	1	9	5	1	2	1	2	7	2	2	4	3	5	
Q1	-10	-9	-10	-10	-7	-13	-9	-6	-8	-14	-10	-12	-9	-7	-13	-6	-12	-12	-19	-9	-13	-13	-16	-14	
Q2	-1	0	3	1	-0	-2	-1	1	0	-2	0	-2	1	0	0	1	2	1	-3	-0	0	-1	-1	-0	
Q3	9	9	16	8	9	10	9	8	9	13	13	11	9	8	10	7	15	9	11	8	12	14	15	13	
Q4	83	66	66	46	66	91	78	58	49	148	89	100	71	67	145	97	86	106	106	59	95	93	101	90	
平均値	0	-0	0	-0	-0	-1	0	1	0	-6	1	-2	0	0	-1	0	1	-1	-2	-0	1	0	0	1	
標準偏差	18	17	38	16	16	21	18	14	16	104	23	48	18	15	24	19	22	22	28	16	22	23	26	24	
都道府県	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
業種	15	16	17	19	21	23	26	27	28	33	2	3	5	7	17	20	21	22	23	27	28	29	32	33	
観測数	2	8	5	1	2	2	2	5	5	1	3	1	2	2	3	2	4	2	2	6	6	2	1	1	
Q1	-9	-8	-9	-21	-13	-8	-11	-11	-13	-12	-7	-13	-9	-11	-11	-15	-13	-11	-11	-8	-9	-13	-6	-8	
Q2	0	1	2	-0	0	-1	0	0	3	0	1	-1	0	1	1	-1	1	0	0	-1	1	0	0	0	
Q3	12	9	12	17	12	8	10	12	16	10	8	12	11	12	14	14	12	9	8	8	10	13	8	9	
Q4	115	87	89	201	85	114	110	65	100	111	56	92	89	111	115	165	91	111	92	61	87	82	77	152	
平均値	-1	0	1	-0	-0	-0	-0	-1	0	0	0	-1	1	1	1	-1	0	1	-1	-0	1	-0	1	-1	
標準偏差	37	17	20	35	23	16	19	37	43	26	15	22	19	22	23	28	24	18	19	15	18	22	20	30	

注: Q1 から Q4 は、それぞれ第1四分位数から第4四分位数を表す。都道府県 No: 1: 北海道; 11: 埼玉県; 12: 千葉県; 13: 東京都; 14: 神奈川県; 23: 愛知県; 26: 京都府; 27: 大阪府; 28: 兵庫県; 40: 福岡県。業種 No については表 8 を参照されたい。観測社数の合計は 1,477 社。

表 3: DCC 多変量 GARCH モデルの推定結果 (1/5)

北海道 (8 業種)		埼玉県 (16 業種)		千葉県 (10 業種)	
正規分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1,2) GARCH(0)		正規分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1,2) GARCH(0)		正規分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1) GARCH(0)	
係数		係数		係数	
P>z		P>z		P>z	
水産・農林業		精密機器		食料品	
arch		arch		arch	
L1.	0.396***	L1.	0.433**	L1.	0.020
L2.	0.364***	L2.	0.086**	L1.	0.579
cons	0.000***	cons	0.001***	cons	0.000
食料品		その他製品		建設業	
arch		arch		arch	
L1.	0.180	L1.	0.179	L1.	0.062
L2.	0.180**	L2.	0.472**	cons	0.333
cons	0.001***	cons	0.001***	L1.	0.000
情報・通信業		情報・通信業		機械	
arch		arch		arch	
L1.	0.106	L1.	0.098	L1.	0.028
L2.	0.138	L2.	0.090	cons	0.001***
cons	0.001***	cons	0.001***	L1.	0.706
サービス業		サービス業		L1.	0.000
arch		arch		電気機器	
L1.	0.235	L1.	0.098	arch	
L2.	0.217	L2.	0.090	L1.	0.100
cons	0.000	cons	0.001***	L1.	0.250
サービス業		サービス業		cons	0.000
arch		arch		情報・通信業	
L1.	0.073	L1.	0.449**	arch	
L2.	0.061***	L2.	0.330	L1.	0.132
cons	0.000***	cons	0.001***	cons	0.237
電気・ガス業		陸運業		cons	0.000
arch		arch		サービス業	
L1.	0.225**	L1.	0.358*	arch	
L2.	0.159**	L2.	0.098	L1.	0.018
cons	0.000***	cons	0.001***	cons	0.733
卸売業		小売業		L1.	0.000
arch		arch		陸運業	
L1.	0.602***	L1.	0.072	arch	
L2.	0.004	L2.	0.008***	L1.	0.063
cons	0.000***	cons	0.000***	cons	0.001***
小売業		銀行業		L1.	0.000
arch		arch		小売業	
L1.	0.019	L1.	0.044	arch	
L2.	0.113*	L2.	0.429**	L1.	0.197*
cons	0.000***	cons	0.001***	cons	0.056
銀行業		不動産業		L1.	0.000
arch		arch		銀行業	
L1.	0.239**	L1.	0.094	arch	
L2.	0.158*	L2.	0.312	L1.	0.291*
cons	0.000***	cons	0.001***	cons	0.000***
CaRatio		CaRatio		不動産業	
arch		arch		arch	
L1.	0.328***	L1.	0.657***	L1.	0.109
L2.	0.292***	L2.	0.401**	cons	0.272
cons	0.004***	cons	0.007***	CaRatio	
				arch	
				L1.	0.224**
				cons	0.038
				L2.	0.011***
				cons	0.000

注: ARCH(p) GARCH(q) は, それぞれ ARCH 項および GARCH 項の最大ラグ数が p および q であることを表す. L1 および L2 は, それぞれ 1 次および 2 次のラグである. ***, **, * は, それぞれ有意水準 1%, 5%, および 10% で統計的有意であることを表す. CaRatio は新規感染者数の 7 日間移動平均の日次増加率, および cons は定数の略称である.

表 4: DCC 多変量 GARCH モデルの推定結果 (2/5)

正規分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1) GARCH(1)			正規分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1,2) GARCH(0)			正規分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1,2) GARCH(1)		
係数	P>z	産業	係数	P>z	産業	係数	P>z	産業
0.032	0.560	水産・農林業	0.384**	0.028	電気機器	0.011	0.393	空運業
0.298	0.455	L1.	0.049	0.515	L1.	0.039	0.277	L1.
0.001**	0.001	L2.	0.000***	0.000	L2.	0.000***	0.000	L2.
0.031*	0.084	化学	0.046	0.324	精密機器	0.068	0.251	L1.
0.603***	0.007	L1.	0.039	0.200	L1.	0.010	0.275	L1.
0.000***	0.000	L2.	0.000***	0.000	L2.	0.000***	0.000	L2.
0.089	0.148	医薬品	0.239*	0.086	arch	0.078	0.150	倉庫・運輸関連業
0.251	0.468	L1.	0.241**	0.097	L1.	0.031**	0.046	L1.
0.001***	0.001	L2.	0.000***	0.000	L2.	0.000***	0.000	L2.
0.144*	0.066	ゴム製品	0.046	0.311	情報・通信業	0.018	0.439	L1.
0.159	0.631	L1.	0.004	0.917	L1.	0.108	0.454	L2.
0.000***	0.002	L2.	0.000***	0.000	L2.	0.000***	0.000	L2.
0.033	0.101	輸送用機器	0.000***	0.000	cons	0.075**	0.012	arch
0.618***	0.009	L1.	0.008	0.866	L1.	0.019***	0.000	L1.
0.001***	0.000	L2.	0.045	0.593	L2.	0.000***	0.000	L2.
0.163**	0.018	鉄鋼	0.001***	0.000	cons	0.000***	0.000	cons
0.099	0.596	非鉄金属	0.178***	0.006	arch	0.268***	0.005	L1.
0.000***	0.001	L1.	0.091*	0.065	L1.	0.049	0.138	L2.
0.186**	0.013	L2.	0.001***	0.000	L2.	0.000***	0.000	L2.
0.135	0.409	機械	0.101	0.170	arch	0.047	0.357	L1.
0.000***	0.000	L1.	0.053***	0.004	L1.	0.168***	0.027	L1.
0.050	0.532	L2.	0.001***	0.000	L2.	0.000***	0.000	L2.
0.053	0.856	ガラス・土石製品	0.028	0.354	arch	0.083*	0.098	L1.
0.000***	0.000	L1.	0.014	0.682	L1.	0.017	0.678	L2.
0.361***	0.001	L2.	0.000***	0.000	L2.	0.001***	0.000	L2.
0.662***	0.000	CaRatio	0.214**	0.013	arch	0.171**	0.019	cons
0.000	0.983	L1.	0.412***	0.000	L1.	0.411***	0.000	L1.
		L2.	0.002***	0.000	L2.	0.002***	0.000	L2.
		cons			cons			cons
		繊維製品			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		cons			cons			cons
		CaRatio			CaRatio			CaRatio
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			L2.
		arch			arch			arch
		L1.			L1.			L1.
		L2.			L2.			

表 5: DCC 相関多変量 GARCH モデルの推定結果 (3/5)

正期分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(0) GARCH(0)		神奈川県 (21 業種)		t(3) 分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1) GARCH(1)		t(3) 分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1.2) GARCH(0)		愛知県 (23 業種)		正期分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(0) GARCH(0)	
係数	P>z	係数	P>z	係数	P>z	係数	P>z	係数	P>z	係数	P>z
水産・農林業	0.000***	0.209	0.027	0.081***	0.000	0.104	0.521	0.125	0.191	0.000***	0.000
cons		L1.	garch	arch	L1.	L1.	arch	L1.	陸産業	cons	0.001***
食料品	0.000***	0.521***	0.007	0.088	0.808	0.073**	L2.	L2.	cons	倉庫・運輸関連業	0.001***
cons		L1.	cons	L1.	cons	0.000***	建設業	L1.	非鉄金属	cons	0.001***
建設業	0.001***	0.003***	0.000	0.001***	0.003	0.255	arch	L1.	cons	0.001***	
cons		cons	サービス業	arch	L1.	0.122	L1.	L2.	L1.	0.539**	0.010
金属製品	0.001***	0.077	0.035	0.476**	0.035	0.000***	L2.	L2.	L2.	0.508**	0.014
ガラス・土石製品	0.001***	0.149	0.531	0.061	0.753	0.000***	arch	L1.	cons	0.000***	
cons		garch	cons	L1.	cons	0.167	金属製品	L1.	cons	0.135**	0.032
繊維製品	0.000***	0.001***	0.001	0.001***	0.001	0.061	L2.	L2.	L2.	0.033***	0.000
cons		arch	陸産業	arch	L1.	0.001***	L1.	L1.	機械	cons	0.001***
化学	0.000***	0.028	0.498	0.125	0.342	0.001***	L2.	L2.	arch	cons	0.001***
cons		L1.	L1.	cons	ガラス・土石製品	0.017	cons	L1.	電気機器	cons	0.001***
CaRatio	0.010***	0.277	0.204	0.328	0.219	0.071***	arch	L1.	L1.	0.010	0.863
cons		L1.	cons	L1.	cons	0.000***	L2.	L2.	L2.	0.073	0.132
		機械	倉庫・運輸関連業	cons	倉庫・運輸関連業	0.001***	cons	L1.	精密機器	cons	0.000***
		arch	L1.	arch	L1.	0.156	cons	L2.	arch	0.000***	0.000
		L1.	garch	L1.	garch	0.392	繊維製品	L1.	L1.	0.124	0.215
		garch	L1.	L1.	L1.	0.880***	arch	L1.	L1.	0.187**	0.033
		L1.	cons	L1.	cons	0.000	L2.	L2.	L2.	0.000***	0.000
		cons	電気機器	cons	化学	0.000***	cons	その他製品	cons	0.000***	0.000
		arch	arch	arch	arch	0.028	arch	arch	情報・通信業	0.562***	0.003
		L1.	L1.	L1.	L1.	0.455**	L1.	L1.	L1.	0.057	0.322
		garch	garch	garch	garch	0.001***	L2.	L2.	L2.	0.000***	0.000
		L1.	L1.	L1.	L1.	0.001***	cons	cons	cons	0.000***	0.000
		cons	精密機器	cons	ゴム製品	0.001***	cons	cons	cons	0.000***	0.000
		arch	arch	arch	arch	0.169	arch	arch	arch	0.088	0.196
		L1.	L1.	L1.	L1.	0.147	L1.	L1.	L1.	0.115	0.264
		garch	garch	garch	garch	0.000***	L2.	L2.	L2.	0.000***	0.000
		L1.	L1.	L1.	L1.	0.000***	cons	cons	cons	0.000***	0.000
		cons	cons	cons	輸送用機器	0.002***	cons	cons	サービス業	0.015	0.821
		cons	その他製品	cons	arch	0.912***	arch	arch	L1.	0.026	0.601
		L1.	L1.	L1.	L1.	0.396	L1.	L1.	L1.	0.000***	0.000
		garch	garch	garch	garch	0.003	L2.	L2.	L2.	0.446***	0.000
		L1.	L1.	L1.	L1.	0.484**	cons	cons	CaRatio	0.170***	0.007
		cons	cons	cons	CaRatio	0.006	arch	arch	arch	0.013**	0.000
		CaRatio	arch	arch	arch	1.466***	L1.	L1.	L1.		
		arch	L1.	L1.	L1.	0.008	L2.	L2.	L2.		
		L1.	garch	garch	garch	0.008	cons	cons	cons		
		L1.	L1.	L1.	L1.		cons	cons	cons		
		cons	cons	cons	cons						

注: ARCH(p) GARCH(q) は、それぞれ ARCH 項および GARCH 項の最大ラグ数が p および q であることを表す。L1 および L2 は、それぞれ 1 次および 2 次のラグである。***, **, * は、それぞれ有意水準 1%, 5%, および 10% で統計的有意であることを表す。CaRatio は新規感染者数の 7 日間移動平均の日次増加率、および cons は定数の略称である。

表 6: DCC 多変量 GARCH モデルの推定結果 (4/5)

京都府 (19 業種)		大阪府 (27 業種)	
正規分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(0) GARCH(0) 係数	t(3) 分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1,2) GARCH(1) 係数	t(3) 分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1,2) GARCH(0) 係数	t(3) 分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1,2) GARCH(0) 係数
P>z	P>z	P>z	P>z
食料品 cons 0.001***	食料品 arch 0.127	食料品 arch 0.124	食料品 arch 0.030***
金属製品 cons 0.001***	L1. 0.020	L1. 0.131	L1. 0.030***
繊維製品 cons 0.000***	L2. 0.668	L2. 0.000***	L2. 0.000***
化学 cons 0.000***	L1. 1.998**	cons 0.024	cons 0.001***
医薬品 cons 0.001***	arch 0.001	arch 0.054	arch 0.182
輸送用機器 cons 0.001***	cons 0.636	L1. 0.028	L1. 0.158
機械 cons 0.001***	L2. 0.000	L2. 0.001***	L2. 0.000***
電気機器 cons 0.001***	garch 0.432	arch 0.244	arch 0.042
精密機器 cons 0.000***	L1. 0.000	L1. 0.306	L1. 0.030
その他製品 cons 0.000***	cons 0.001***	L2. 0.649	L2. 0.737
CaRatio cons 0.030***	garch 0.035	cons 0.000***	cons 0.001***
	L1. 0.552	機械 0.004	輸送用機器 arch 0.294
	L2. 0.235	L1. 0.004	L1. 0.189
	garch 0.367	L2. 0.773	L2. 0.093
	cons 0.002***	cons 0.000	L2. 0.557
	倉庫・運輸関連業 arch 0.230	電気機器 arch 0.054	cons 0.000***
	L1. 0.140	L1. 0.221*	arch 0.011
	L2. 0.603***	L2. 0.040	L1. 0.255*
	garch 0.217	cons 0.000***	L2. 0.000***
	cons 0.000***	ハルブ・紙 cons 0.318	銀行業 cons 0.001***
	L1. 0.068	arch 0.892	証券 商品先物取引業 arch 0.064***
	cons 0.000***	L1. 0.188	L1. 0.143***
	arch 0.502***	L2. 0.214	L2. 0.098***
	L2. 1.047***	cons 0.000***	L2. 0.001***
	garch 0.051***	化学 arch 0.049	arch 0.064***
	cons 0.000***	L1. 0.730	L1. 0.016
	L1. 0.247	L2. 0.490	L2. 0.001***
	L2. 0.037	cons 0.000***	cons 0.000***
	L1. 0.143	医薬品 cons 0.000***	保険業 cons 0.001***
	cons 0.000*	arch 0.102	arch 0.001
	銀行業 arch 0.151	L1. 0.769	L1. 0.283
	L1. 0.281	L2. 0.037	L2. 0.208*
	L2. 0.468***	cons 0.001***	L2. 0.000***
	cons 0.001***	CaRatio arch 0.512***	CaRatio arch 0.480***
	その他金融業 arch 0.155	L1. 0.253	L1. 0.311*
	L2. 0.338**	L2. 0.057	L2. 0.012***
	garch 0.102	cons 0.770	cons 0.000
	cons 0.001**	不動産業 arch 0.096	arch 0.349*
	arch 0.020	L1. 0.850	L1. 0.069
	L1. 0.565***	L2. 0.001	L2. 0.000
	cons 0.001***	cons 0.000	cons 0.000

ARCH(p) GARCH(q) は、それぞれ ARCH 項および GARCH 項の最大ラグ数が p および q であることを表す。L1 および L2 は、それぞれ 1 次および 2 次のラグである。***, **, * は、それぞれ有意水準 1%, 5%, および 10% で統計的有意であることを表す。CaRatio は新規感染者数の 7 日間移動平均の日次増加率、および cons は定数の略称である。

表 7: DCC 多変量 GARCH モデルの推定結果 (5/5)

長期限 (21 業種)			短期限 (14 業種)		
業種	正規分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1,2) GARCH(0)	P>z	業種	正規分布, Prob>chi2=0.000 ARCH(1,2) GARCH(0)	P>z
食料品			食料品		
arch			arch		
L1.	0.062	0.307	L1.	0.200**	0.041
L2.	0.235**	0.016	L2.	0.041***	0.008
cons	0.000***	0.000	cons	0.001***	0.000
石油・石炭製品			その他製品		
arch			arch		
L1.	0.085	0.276	L1.	0.228*	0.066
L2.	0.232	0.207	L2.	0.031	0.504
cons	0.000***	0.000	cons	0.000***	0.000
建設業			建設業		
arch			arch		
L1.	0.332**	0.001	L1.	0.191	0.110
L2.	0.395***	0.000	L2.	0.230*	0.069
cons	0.000***	0.000	cons	0.000***	0.000
金属製品			船舶・運輸関連業		
arch			arch		
L1.	0.234*	0.092	L1.	0.247**	0.038
L2.	0.166**	0.034	L2.	0.163***	0.004
cons	0.000***	0.000	cons	0.000***	0.000
ガラス・土石製品			電気機器		
arch			arch		
L1.	0.172	0.114	L1.	0.029	0.637
L2.	0.188	0.121	L2.	0.074**	0.251
cons	0.000***	0.000	cons	0.000***	0.000
繊維製品			小売業		
arch			arch		
L1.	0.099	0.255	L1.	0.098	0.256
L2.	0.188**	0.043	L2.	0.018	0.675
cons	0.001***	0.000	cons	0.001***	0.000
化学			不動産業		
arch			arch		
L1.	0.099	0.148	L1.	0.275***	0.005
L2.	0.151**	0.069	L2.	0.159**	0.153
cons	0.000***	0.000	cons	0.000***	0.000
CaRatio			CaRatio		
arch			arch		
L1.	0.219***	0.003	L1.	0.275***	0.001
L2.	0.648***	0.000	L2.	0.279***	0.000
cons	0.005***	0.000	cons	0.005***	0.000
電気・ガス業			情報・通信業		
arch			arch		
L1.	0.171	0.143	L1.	0.117	0.141
L2.	0.182	0.212	L2.	0.004	0.947
cons	0.000***	0.000	cons	0.000***	0.000
陸運業			その他金融業		
arch			arch		
L1.	0.127	0.172	L1.	0.230**	0.015
L2.	0.128	0.163	L2.	0.295**	0.029
cons	0.000***	0.000	cons	0.000***	0.000
卸売業			銀行業		
arch			arch		
L1.	0.466***	0.001	L1.	0.371**	0.028
L2.	0.169	0.131	L2.	0.102	0.204
cons	0.000***	0.000	cons	0.000***	0.000
小売業			CaRatio		
arch			arch		
L1.	0.442***	0.000	L1.	0.468***	0.000
L2.	0.396***	0.001	L2.	0.387***	0.001
cons	0.005***	0.000	cons	0.008***	0.000

注: ARCH(p) GARCH(q) は、それぞれ ARCH 項および GARCH 項の最大ラグ数が p および q であることを表す。L1 および L2 は、それぞれ 1 次および 2 次のラグである。***, **, * は、それぞれ有意水準 1%, 5%, および 10% で統計的に有意であることを表す。CaRatio は新規感染者数の 7 日間移動平均の日増加率、および cons は定数の略称である。

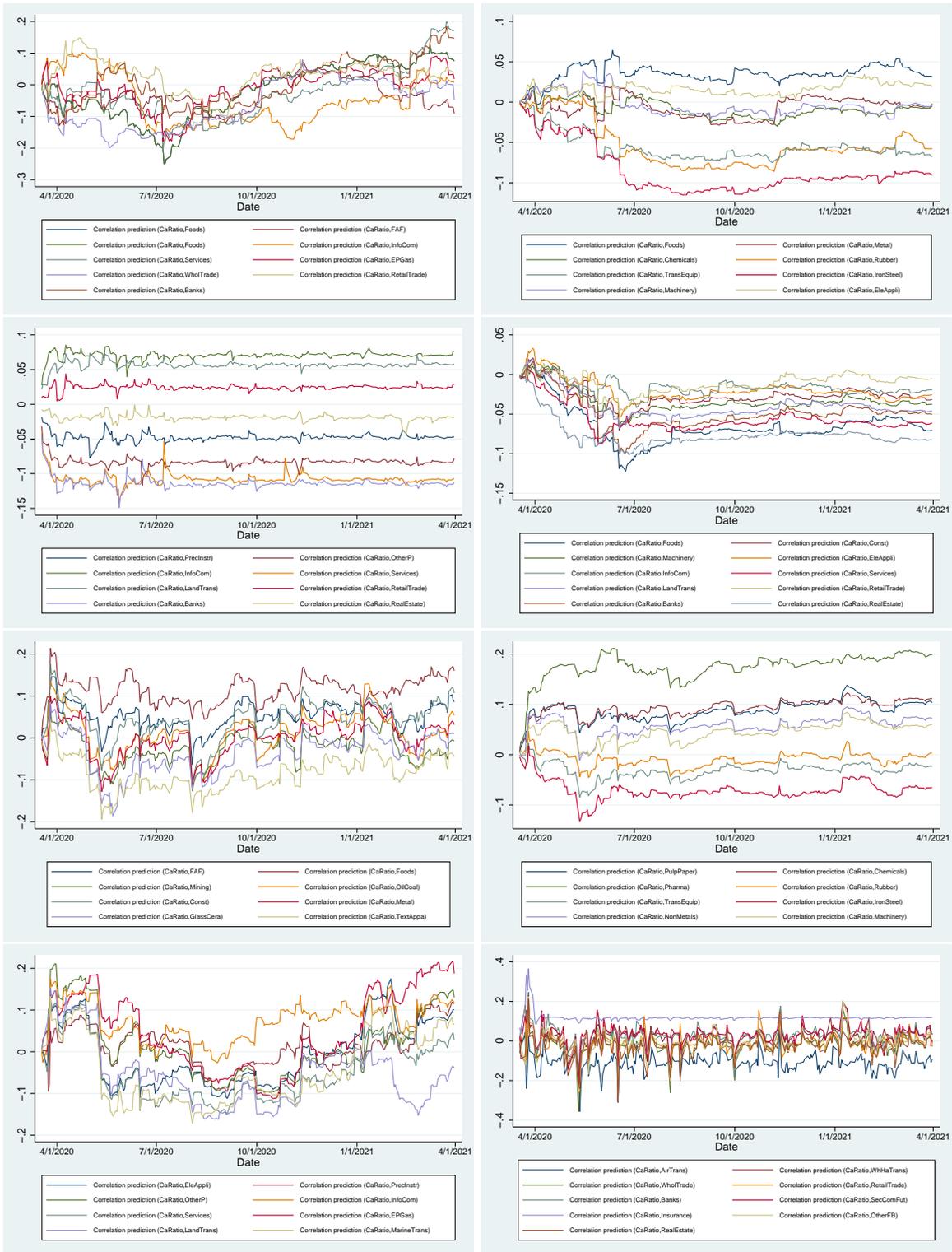


図 2: 都道府県別株価指数日次収益率と COVID-19 新規感染者数の 7 日間移動平均の日次増加率間の DCC

注: 各パネルは、最上段の左から右へ、その下の段に移り、同様に左から右へと順番に、北海道 1 枚、埼玉県 2 枚、千葉県 1 枚、および東京都 4 枚が該当する。

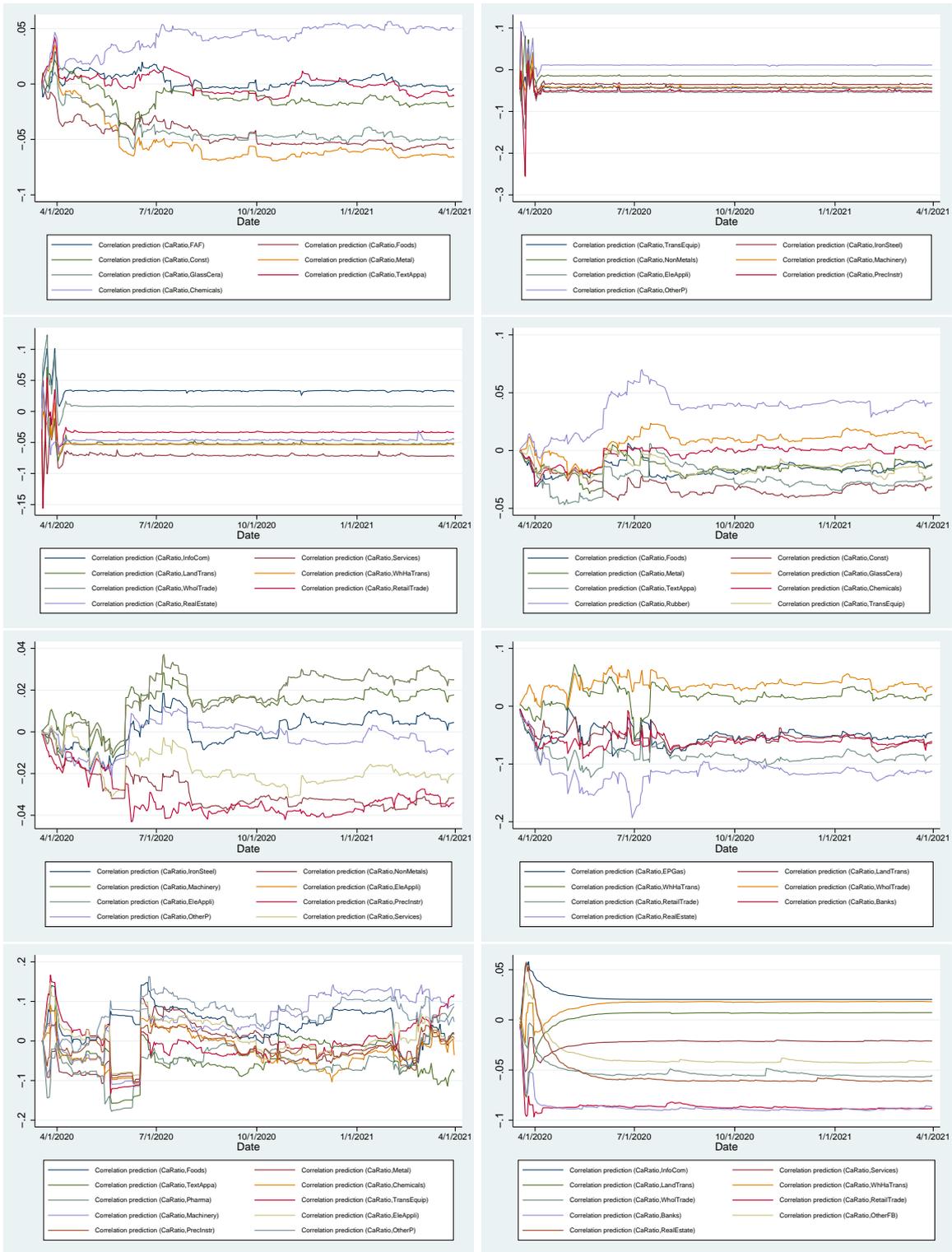


図 3: 都道府県別株価指数と COVID-19 新規感染者数の 7 日間移動平均増加率間の DCC

注: 各パネルは、最上段の左から右へ、その下の段に移り、同様に左から右へと順番に、神奈川県 3 枚、愛知県 3 枚、および京都府 2 枚が該当する。

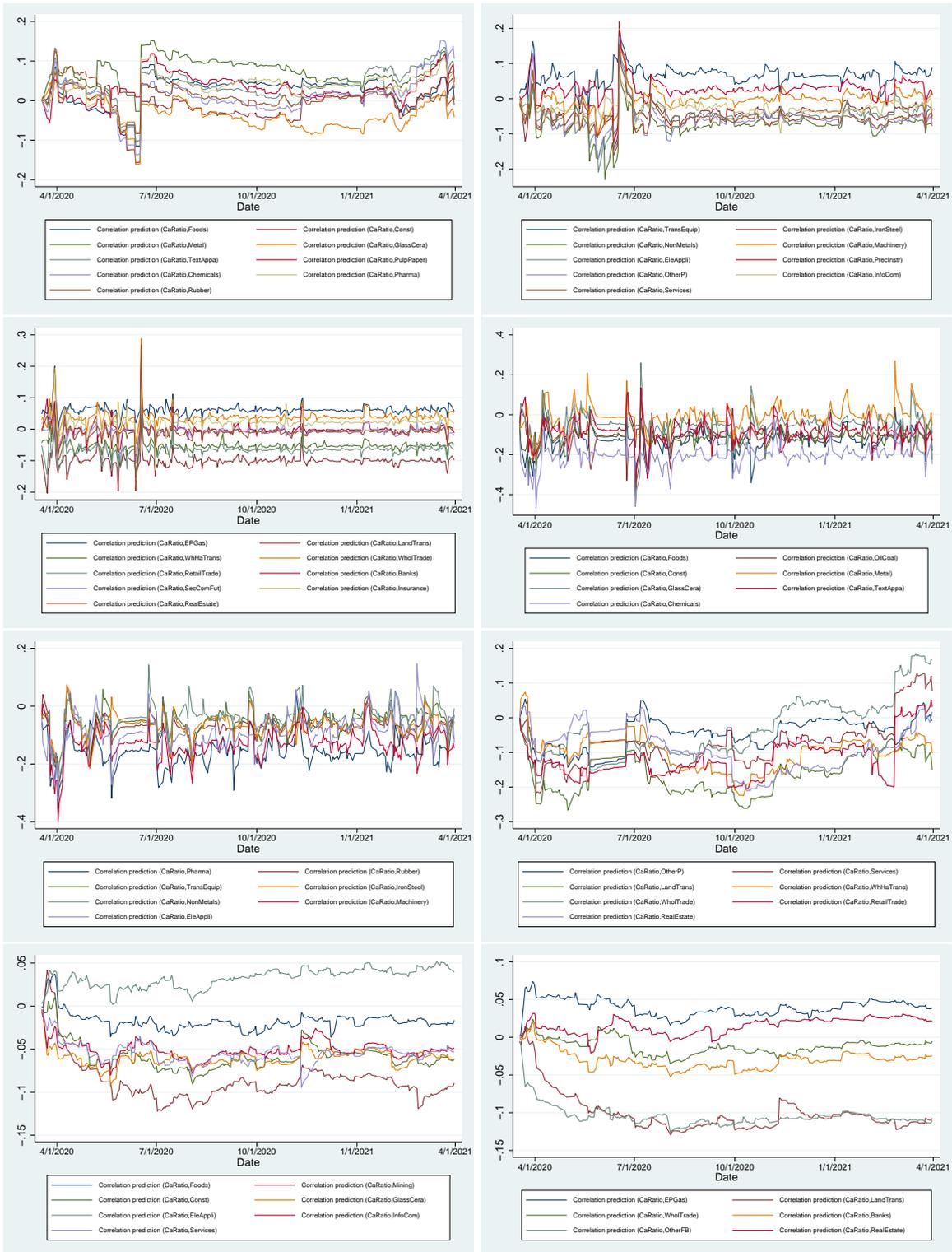


図 4: 都道府県別株価指数と COVID-19 感染者数の 7 日間移動平均増加率間の DCC

注: 各パネルは、最上段の左から右へ、その下の段に移り、同様に左から右へと順番に、大阪府 3 枚、兵庫県 3 枚、および福岡県 2 枚が該当する。

付録 A 東証株価指数 33 業種リスト

東証株価指数 33 業種のリストは、表 8 の通りである。

表 8: 東証株価指数 33 業種

業種 No	33 業種区分	英語名 (ショート)
1	水産・農林業	FAF
2	食料品	Foods
3	鉱業	Mining
4	石油・石炭製品	OilCoal
5	建設業	Const
6	金属製品	Metal
7	ガラス・土石製品	GlassCera
8	繊維製品	TextAppa
9	パルプ・紙	PulpPaper
10	化学	Chemicals
11	医薬品	Pharma
12	ゴム製品	Rubber
13	輸送用機器	TransEquip
14	鉄鋼	IronSteel
15	非鉄金属	NonMetals
16	機械	Machinery
17	電気機器	EleAppli
18	精密機器	PrecInstr
19	その他製品	OtherP
20	情報・通信業	InfoCom
21	サービス業	Services
22	電気・ガス業	EPGas
23	陸運業	LandTrans
24	海運業	MarineTrans
25	空運業	AirTrans
26	倉庫・運輸関連業	WaHaTrans
27	卸売業	WholTrade
28	小売業	RetailTrade
29	銀行業	Banks
30	証券、商品先物取引業	SecComFut
31	保険業	Insurance
32	その他金融業	OtherFB
33	不動産業	RealEstate

参考文献

- [1] 菅野正泰, 2014. 『入門金融リスク資本と統合リスク管理 第2版』. きんざい.
- [2] 菅野正泰, 2020. 「新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の主要都市経済に与える影響度の合成株価指数による分析」. 『季刊 個人金融』. 2020年夏号, 94-105.
- [3] 帝国データバンク, 2021. 「新型コロナウイルス関連倒産動向調査 (6月28日16時現在判明分)」. Available at <https://www.tdb.co.jp/tosan/covid19/index.html>.
- [4] 東京証券取引所, 2020. 「東証指数算出要領 (市場別指数編)」. 2020年6月30日版.
- [5] 東洋経済オンライン編集部, 2021. 「新型コロナウイルス国内感染の状況」. Available at <https://toyokeizai.net/sp/visual/tko/covid19/>.
- [6] Akhtaruzzaman, M., Boubaker, S., Sensoy, A., 2021. Financial contagion during COVID-19 crisis. *Finance Research Letters*. 38, 101604.
- [7] Ashraf, B.N., 2020. Stock markets' reaction to COVID-19: Cases or fatalities? *Research in International Business and Finance*. 54, 101249.
- [8] Cepoi, C.-O., 2020. Asymmetric dependence between stock market returns and news during COVID-19 financial turmoil. *Finance Research Letters*. 36, 101658.
- [9] Engle, R. F., 2002. Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of Business and Economic Statistics*. 20, 339-350.
- [10] Goodell, J.W., 2020. COVID-19 and finance: Agendas for future research. *Finance Research Letters*. 35, 101512.
- [11] Goodell, J.W., Huynh, T.L.D., 2020. Did Congress trade ahead? Considering the reaction of US industries to COVID-19. *Finance Research Letters*. 36, 101578.
- [12] Gould, W. W., Pitblado, J., Poi, B.P., 2010. *Maximum Likelihood Estimation with Stata*. 4th ed. Stata Press, College Station.
- [13] Haroon, O., Rizvi, S.A.R., 2020. COVID-19: Media coverage and financial markets behavior—A sectoral inquiry. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*. 27, 100343.
- [14] Johns Hopkins University (JHU), 2020. COVID-19 dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE). Available at <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>.
- [15] Kanno, M., 2015. The network structure and systemic risk in the Japanese interbank market. *Japan and the World Economy*. 36, 102-112.
- [16] Kanno, M., 2021a. Assessing the impact of COVID-19 on major industries in Japan: A dynamic conditional correlation approach. *Research in International Business and Finance*. 58, 101488.
- [17] Kanno, M., 2021b. Risk contagion of COVID-19 in Japanese firms: A network approach. *Research in International Business and Finance*. 58, 101491.

- [18] Kiss, I.Z., Miller, J.C., Simon, P.L., 2018. Mathematics of epidemics on networks: From exact to approximate models (Interdisciplinary Applied Mathematics). 1st ed. Springer International Publishing, Switzerland.
- [19] Mazur, M., Dang, M., Vega, M., 2021. COVID-19 and the March 2020 Stock market crash. Evidence from S&P1500. *Finance Research Letters*. 38, 101690.
- [20] Okorie, D.I., Lin, B., 2021. Stock markets and the COVID-19 fractal contagion effects. *Finance Research Letters*. 38, 101640.
- [21] Shehzad, K., Xiaoxing, L., Kazouz, H., 2020. COVID-19's disasters are perilous than global financial crisis: A rumor or fact? *Finance Research Letters*. 36, 101669.
- [22] Shi, Y., Ho, K.-Y., 2020. News sentiment and states of stock return volatility: Evidence from long memory and discrete choice models. *Finance Research Letters*. 38, 101446.
- [23] Vynnycky, E., White, R.G., 2010. An introduction to infectious disease modelling. Oxford University Press, Oxford.
- [24] WHO, 2020. WHO: Coronavirus disease (COVID-19) outbreak, <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>, 2020.
- [25] Wu, D.D., Olson, D.L., 2020. Pandemic Risk Management in Operations and Finance: Modeling the Impact of COVID-19. 1st ed. Springer Nature Switzerland, Switzerland.
- [26] Zaremba, A., Kizys, R., Aharon, D.Y., Demire, E., 2020. Infected markets: Novel Coronavirus, government interventions, and stock return volatility around the globe. *Finance Research Letters*. 35, 101597.