

新型コロナウイルス感染症感染傾向と都市鉄道利用傾向に関する統計上の考察

○ [土] 大屋戸 理明 (鉄道総合技術研究所)

Statistical Analysis on Spread Tendency of COVID-19 Infection
and Urban Railway Usage Situation

○Michiaki Oyado, (Railway Technical Research Institute)

The tendency of the spread and convergence of COVID-19 infectious diseases that spread from China to the world after the end of 2019 was analyzed statistically focusing on the impact on railways. In order to express the situation concisely and obtain a future outlook, the tendency of this infectious disease's spread and convergence was expressed with normal distribution curve. Furthermore, the increase and decrease in the number of people staying in Tokyo were compared with the number of subway passengers, resulting in finding correlation between them.

キーワード: 経営管理、鉄道統計、感染症、公衆衛生、鉄道利用

Key Words: Business Management, Railway Statistics, Infection, Public Sanitation, Railway Usage

1. はじめに

本報では、2019 年末以降中国から世界に拡散した新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の感染拡大・収束傾向と、これの鉄道への影響として都市鉄道の利用者数に着目した統計上の考察を行った。

2. 感染拡大・収束の推測

2.1 各国の感染拡大・収束傾向

COVID-19 の感染拡大・収束傾向は、各国の衛生状況や感染予防の施策など (感染環境) によって異なるが、日本

国内の感染拡大・収束傾向を推測するに当たっては、各国の感染拡大・収束傾向と感染環境との関係を観察することが有用である。上位 20 か国の累計感染者数と各国の死者数を図 1 に示す。ここでは各国で頻繁に引用される米国の大学がまとめたデータを用いている。国ごとに検査体制 (無症状者・軽症者に検査を行うかどうかなど) や感染の判断 (感染していると判断する検査方法と基準) に相違があり、図 1 の結果を単純に国同士の比較に用いることは必ずしも適切ではないが、ここでは各国の感染拡大・収束傾向を調査するのに適する、累計感染者数の多い国を抽出する目的で作図している。感染による直接の影響を確認するためには、累計感染者数よりも死者数に注目するほうが合理的との考え方もあり、これを参考のため図 1 の下図に示した。累計感染者数は、米国、インド、ブラジルの 3 か国が突出しており、これにロシア、アルゼンチン、コロンビアが続いている。鉄道路線の充実している欧州に関しては、スペイン、フランスがそれぞれ 7 位、8 位に入っている。

世界各国における感染拡大・収束傾向を確認する。図 1 のデータの引用元ではサイトにアクセスした時点のデータしか得られないため、ここでは過去に遡ってデジタルデータが入手可能な、NPO “Our World in Data” のデータ²⁾を用いる。このデータは European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) のデータ³⁾と概ね一致している。図 1 の国名に * を付した国に、早期に感染が

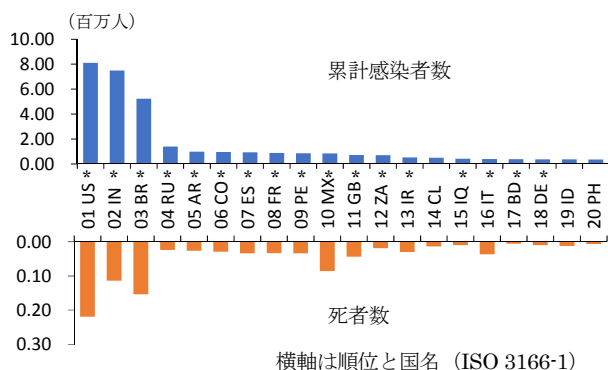


図 1 累計感染者数上位 20 か国とそれらの国の死者数
(2020.10.18 18:24 時点の情報)

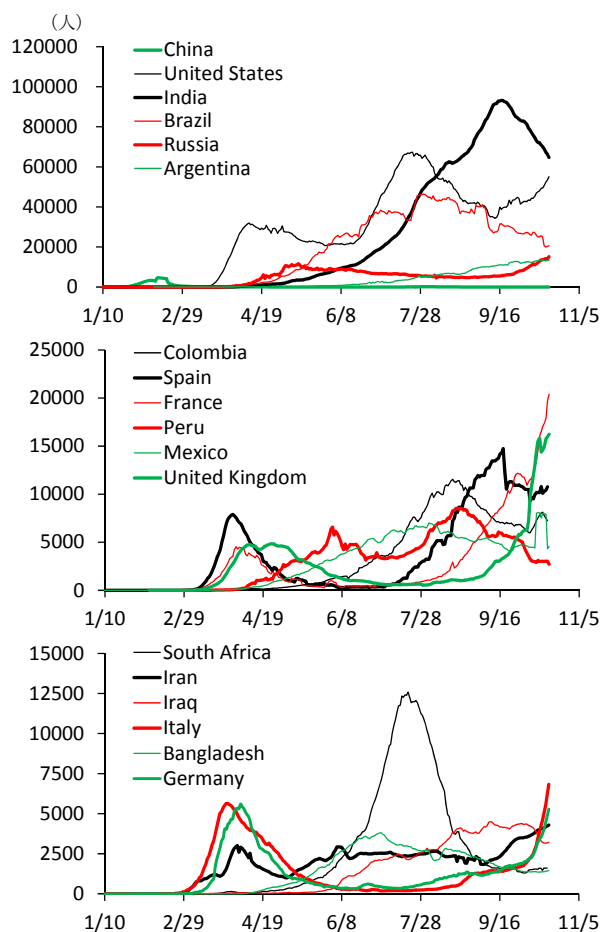


図2 18か国の新規感染者数の推移

拡大し収束した中国を加えた18か国の新規感染者数（1日あたり、以下同じ）の推移を図2に示す。各国の報告件数には、週末における検査の一時的な休止などが理由で周期的な波動があり、複数の国の表示が交錯して判読しづらくなるため、図2のデータは7日間の移動平均値を表示している。中国で1～2月に感染が拡大し収束したのち、欧州各国とイランで感染が拡大した。米国では欧州各国と同時期に感染が拡大したが、十分に収束しないうちに第2波が発生している。インド、ブラジルは第1波が収束し始めているが、欧州は9月以降第2波が拡大している。アルゼンチンは感染拡大の第1波の途上にある。ドイツとイタリアは傾向が酷似しているが、理由は不明である。

2.2 分析方法

COVID-19の感染拡大・収束傾向、即ちどの程度まで拡大しいつ頃収束するか、見通しを得ることは重要な関心事である。感染の予測で用いられる代表的なモデルとしてSIRモデルがある。これは、対象人口を固定（新生児誕生、外部からの人の流入・流出ならびに感染症以外による死亡がないと仮定）し、未だ感染していない（S）、今感染している（I）ならびに治癒して免疫を獲得したか死亡したため、今後感染に関与しない（R）の3つのグループに区分して、 $S \rightarrow I \rightarrow R$ の順に状態が遷移する様子を以下の差分方程式により表現したものである。

$$dS(t)/dt = -\beta \cdot S(t) \cdot I(t)$$

$$dI(t)/dt = \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t)$$

$$dR(t)/dt = \gamma \cdot I(t)$$

ここに、

S：未だ感染していない（今後感染する可能性がある）
人の数

I：今感染している（今後他人を感染させる可能性がある）
人の数

R：治癒して免疫を獲得したか死亡したため、今後感染
に関与しない人の数

β ：伝達係数（Sグループ中の1人が単位時間に感染する
確率を $\beta \cdot I(t)$ とする係数で、 β は1対1接触による感染
の確率、接触の数、人口により算出される）

γ ：回復・隔離率（感染期間=1/ γ ）

SIRモデルでは感染と人口の数理の概念で定義される β 、 γ がパラメータとして用いられるが、これは実測することができず、このパラメータだけでは感染拡大・収束の状況を直観的に理解できないという問題がある。

感染拡大・収束の傾向は、対象国の人口、面積、経済規模、感染対策（都市封鎖などの社会的対策ならびに開発中のワクチン使用などの医学的対策）、感染の判断基準、検査体制（検査数が少ない場合に感染者数が少なくなる）その他の影響を受ける。その見通しは、直接的には図2の曲線が今後どう推移するかで表現され、必要な情報は、感染のピーク（新規感染者数が最大の日とその数）ならびに拡大・収束の速度（急峻な曲線か緩慢な曲線か）である。ここで改めて図2に着目すると、幾つかの国の新規感染者数のグラフは、正規分布曲線と似た形状を呈している。そこで本稿では、数学的な取扱いが容易、かつ感染のピークと速度をパラメータ（平均値と σ ）で直接的に表現できる、正規分布曲線で感染拡大・収束の推移を試行的に表現した。これはあくまで便宜的な方法で、疫学的・人口統計学的な意味はなく、厳密な意味で国同士の比較に用いることは有意でないが、ここでの目的は精密な予測を立てることではなく、状況を簡潔に表現し見通しを得ることにあり、その意味では効果的であると考えている。

2.3 分析結果

比較的早期に感染が拡大し概ね収束したとされる中国と、3月～4月頃の第1波で感染の収束が比較的明瞭なイタリアを例にとり、正規分布曲線で感染拡大・収束傾向を表現した。結果を図3に示す。新規感染者数の値は生データであり、移動平均などの加工は行っていない（以下の各値も同様）。正規分布曲線の $-3\sigma \sim +3\sigma$ の範囲について最小二乗法を適用してパラメータを決定した。感染収束期は行動抑制の弛緩（いわゆる気の緩み）などによって傾向がばらつくと考えられ、また感染拡大時のほうが収束時よりも今後の推移に注目されることから、頂点の左側（感染拡大時）を重視して図中の太線で示した観測値のみを分析に使

用した。分析に用いる観測値の選択範囲（観測範囲）を変動させると結果も変動するが、図で理解できるように傾向の考察には支障ない。 σ の値は、中国は6日程度、イタリアで10日程度である。他国も同様に調べると、最小の韓国では5.0日、最大のインドでは49.5日であった。図2に示したように、イタリアと傾向が似たドイツをはじめ、欧州各国の σ はイタリアの値に近いことが推察される。

日本の新規感染者数⁴⁾に対し、同様に正規分布曲線をあてはめた結果を図4に示す。 σ の値は第1波で11日程度、第2波で18日程度である。第1波は前述のイタリアの値に近く、日本の感染拡大傾向は欧州を参考にできることが分かる。なお、第2波の σ が第1波の時よりも大きいことは、行動抑制などの感染対策の強弱が一因と推察される。

感染拡大時において、今後どの程度まで感染が拡大するか、目安を得ることは重要である。図4の第1波の分析で観測範囲を感染拡大期に限定し、仮想的な感染拡大予測を試みた。この結果を図5に示す。極端に昔の観測値を近い将来の予測に用いるのは必ずしも適当でないこと、ならびに図2で7日の移動平均値を使用したのと同様の理由により、観測範囲を仮定の将来予測を行う当日を含む過去14日間に限定して、最小二乗法により正規分布曲線をフィッティングした。感染拡大が生じ曲線が急峻になる以前（図5上）は、 σ は実際より大きいがピーク時の人数は実際に近い。感染拡大開始以降（図5下）は、 σ は図4の実際の値に近づいているが、ピーク時の人数は実際より少ない。いずれも実際との乖離があるが、最終的に第1波がイタリアなど欧州の値に近いことも併せて、情報の少ない感染拡大初期における将来予測の参考になりうると考えられる。

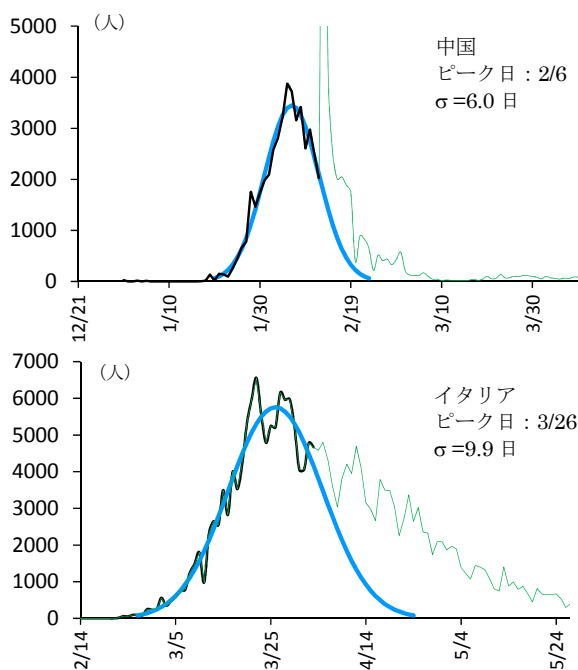


図3 新規感染者数と正規分布曲線の対応

3. 都市鉄道利用傾向との関係

前章に述べたような推測を経て、感染拡大・収束傾向の見通しを得たのちは、その社会活動への影響を推測することが求められる。特に鉄道は社会活動と深く関係しており、鉄道の利用動向の見通しを得ることには意義がある。本章では特に日本の都市鉄道の利用動向に着目し、感染拡大・収束の傾向との比較を行う。

感染拡大・収束の傾向を示すデータとしては、前章で用いたようないくつかの公開情報が入手できる。一方、鉄道の利用状況を示すデータとして、決算短信などの財務情報や国の鉄道輸送統計などが使用できるが、それらの情報の分解能は一般に歴月かそれ以上の長期となり、中でも数値データを取得できるものは少ない。そこで、分解能が週単位、かつ数値を取得できるデータとして、東京都の地下鉄利用者数のデータ⁵⁾を用い、感染拡大・収束傾向や関連の状況との比較を試みる。

東京都内（ターミナル駅および繁華街）における滞在人口の増減⁶⁾と、地下鉄の利用者数の推移⁵⁾を比較して図6に示す。滞在人口はグラフ（週単位のプロット）から読み取って作成したデジタルデータであり、感染拡大前の1月（6日以降）の平日を基準とした、15時（新宿）および21時（銀座）の相対値である。また、地下鉄の利用者数は、1月20日から24日の利用者数の平均値を基準とした相対値（4路線の自動改札出場数）である。滞在人口は、計測場所や計測時間、ならびに利用者数を計測した時間帯などによって異なるが、それらは概ね一定のオフセット値の変

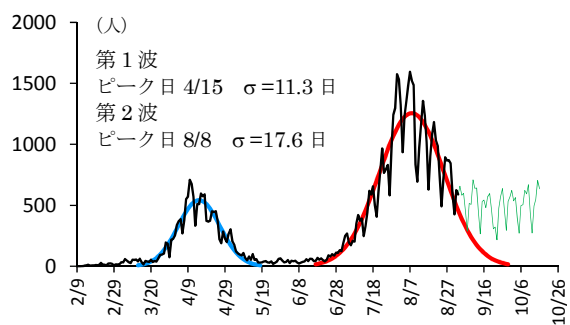


図4 日本の新規感染者数と正規分布曲線の対応

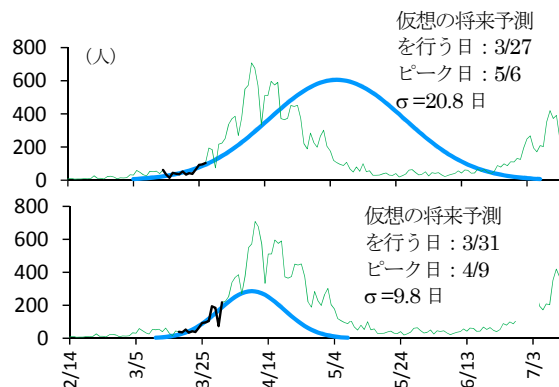


図5 将来の感染拡大の仮想的な予測

動範囲にある。例えば新宿の滞在人口は、9:30～10:30 の地下鉄利用者数と同様の傾向にあり、滞在人口の増減と地下鉄利用者数の増減との間に相関が確認できる。本章の冒頭で述べたように、東京都という限られた空間領域ではあるが、社会活動と鉄道利用との間に密接な関係があることが確認できた。特に東京都の場合、街に滞在するための移動手段として、交通渋滞の観点から自動車の輸送力を増強する余裕がなく、鉄道以外に実質的に手段がないとも考えられ、地下鉄利用者数と滞在人口との相関はある意味で必然とも言える。このことから逆に、自動車の利用が便利な交通渋滞の少ない地域や、元々鉄道の輸送力が小さい地域、ならびに広域の地域をつなぐ長距離列車に関しては、これと異なる結果となる可能性も考えられる。

次に、国内の感染拡大・収束傾向と鉄道利用状況の関係について、直接的に説明可能かどうかを調べる。図6で示した地下鉄利用者数の減少率⁵⁾を、東京都の新規感染者数・重症者数⁶⁾と比較して図7に示す。重症者数は、入院患者数のうち人工呼吸器管理が必要な患者数を計上している。地下鉄利用者数は、新規感染者数が第2波で増加しはじめている6月でも引き続き回復傾向にあり、少し遅れて7月8日頃に利用者が再び減少しはじめるなど、新規感染者との間で時間のずれが確認できる。その一方で、地下鉄

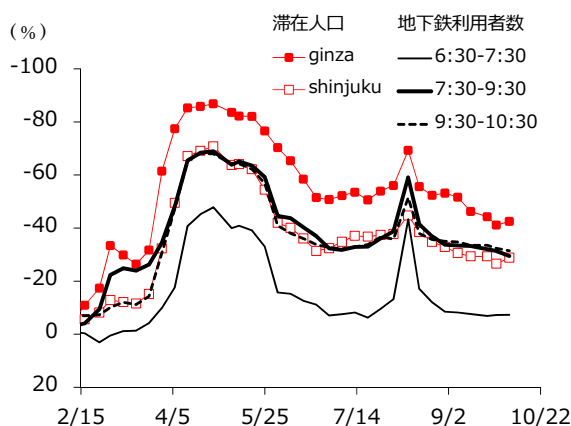


図6 東京都内滞在人口と地下鉄利用者数の推移

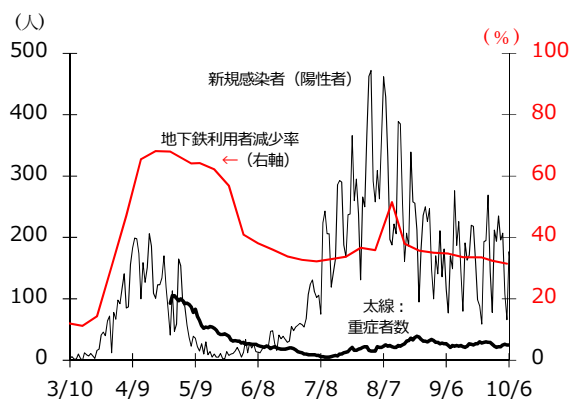


図7 東京の地下鉄利用者数と
東京都の新規感染者数・重症者数

利用者数の減少傾向と重症者数との間では、8月中旬(盆)の一時的な減少を除けば、増加・減少の傾向が一致している。因果関係は不明であるが、重症者数がマスコミなどの報道や医療従事者の業務逼迫の程度に影響することから、図6の考察と併せて考えると、重症患者数がCOVID-19に対する人々の意識と心理的に呼応し、街の人出ひいては地下鉄利用者数に影響しているとも見られる。

4. まとめ

COVID-19の感染拡大・収束傾向を分析し、都市鉄道への影響に着目した考察を行った。2章で述べたように新規感染者数の将来見通しが得られ、3章で述べたように都市鉄道の利用傾向と関連のあるパラメータが確認された。得られた結果を以下にまとめる。COVID-19の感染拡大は、既にあらゆる側面で社会活動に影響を及ぼしている。鉄道は社会活動のバロメータになり、また鉄道を活性化することは社会活動を活性化することにつながる。引き続き関連する他のパラメータや経済活動の諸データとの関係性について検討を進めたい。

- ・COVID-19の感染拡大・収束傾向を、簡潔に表現し見通しを得ることを目的として、便宜的に正規分布曲線で表現した。 σ の値は、中国で6日程度、イタリアで10日程度であった。
- ・日本の第1波の感染拡大・収束傾向を正規分布曲線で表現すると、 σ はイタリアと近い10日程度となり、欧州の傾向を参考にできることが確認された。
- ・東京都内(ターミナル駅および繁華街)における滞在人口の増減と、地下鉄の利用者数の推移を比較した結果、両者の間に相関が確認された。
- ・地下鉄利用者数の減少率と、東京都の新規感染者数・重症者数の推移を比較した結果、地下鉄利用者の減少は重症者数の傾向と一致していることが確認された。

参考文献

- 1) Johns Hopkins University, <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>, 2020.10 アクセス
- 2) “Our World in Data”, <https://ourworldindata.org/coronavirus>, 2020.10 アクセス
- 3) European Centre for Disease Prevention and Control, <https://ecdc.europa.eu>, 2020.10 アクセス
- 4) 厚生労働省オープンデータ, <https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/open-data.html>, 2020.10 アクセス
- 5) 東京都新型コロナウイルス感染症特設サイト, <https://stopcovid19.metro.tokyo.lg.jp/>, 2020.10 アクセス
- 6) 東京都政策企画局 HP, <https://www.seisakukikaku.metro.tokyo.lg.jp/information/corona-people-flow-analysis.html>, 2020.10 アクセス