

COVID-19 パンデミックは 大都市圏鉄道にとって「チャンス」である

高木 亮 (工学院大学)

COVID-19 Pandemic: An Opportunity for Improvement of Railways in Major Conurbations

Ryo TAKAGI (Kogakuin University)

As the organizer of this Organised Session of J-Rail 2022, I expect that the participants will make active exchange of ideas over the impact of, and the changes in lifestyles that have been brought about by, the COVID-19 pandemic on the railway systems. The objective of this paper is to facilitate the discussions by presenting my view that the COVID-19 pandemic actually gives railways in major conurbations like Tokyo a never-to-be-missed chance for improvement, because: 1) Although the dip in railway ridership since the beginning of the pandemic is significant, it alone does not remove the need for increasing capacity, and 2) Emerging technologies such as mobile ICT devices and applications therein, advanced train operation techniques, etc., together with the slight decrease in the number of passengers itself, will make it easier to introduce new services and increase train traffic capacity.

キーワード：鉄道, MaaS (Mobility as a Service), 移動閉塞, 超高頻度運行, 全予約化

(Keywords: Railway, MaaS (Mobility as a Service), Moving block, Ultra-high-frequency operation, Compulsory reservation)

1. はじめに

鉄道企業は、COVID-19 パンデミックによる生活様式の変化により、その経営環境が大きく変化した。しかし、筆者は特に大都市の鉄道にとってこの変化は大きな機会と捉えるべきものであると考えている。本稿の主たる目的は、そのような考えに基づき筆者自身が執筆した文献(1)の内容を紹介し、J-Rail 2022 企画セッション「COVID-19 パンデミックは大都市圏鉄道にとって「チャンス」なのか？」における議論に資することである。

2. 文献(1)における筆者提言の要旨

まず、以下に文献(1)における筆者提言をまとめてみる。

(1) 大都市が持つ強力なイノベーションの場としての機能を代替する場が今後も現れそうにないことなど、大都市の今後についての考察から、COVID-19 パンデミックによる人々の行動変容は都市鉄道の2割前後の乗客減少を帰結する可能性があると予測する。これは顕著な変化とはいえるが、輸送力増強・混雑緩和の必要性をなくすほどの変化とはいえない。

(2) パンデミックを機に、大都市における通勤の不効用が改めて一般大衆に認識された。社会を変えつつある道路の自動運転化なども同時期に起こりつつあることなどもあわせ考えれば、都市鉄道はいまこそ、混雑緩和、着席率や速

達性の向上、ルート多様化などの利便性向上を一気に、かつ抜本的に図ることを考えるべきである。

(3) 前項を実現するためには、現状を大幅に上回る高頻度化をはじめとする高度な列車運行の実現が必要である。それは線路増設等への非常に大規模な投資を伴わずともある程度実現可能である。複雑な運行計画の適用による高頻度化と旅行時間短縮の両立、あるいは多座席車両の導入による着席率向上など、実現のための技術的アイデアも古くからある。しかし、複雑な運行計画には乗客への案内などの困難さ、多座席車両は混雑状況における停車時分確保の困難さなどの明らかな問題がある。こうした例が示すとおり、こうしたアイデアの実システムへの適用は必ずしも容易とはいえない。

(4) だが、近年の可搬情報機器類をはじめとするICT技術の発展を前提にすれば、前項で述べた問題点を解決する手法の開発は可能であると期待できる。特に、混雑については「全予約化」により、乗客流をある程度制御する手段としてICT技術を使いつつ、輸送力の抜本的向上を図ることができると期待される。

本論文の以下の部分では、これらについて順に議論してゆこう。

3. 列車の高頻度化手法

2章(1)・(2)で述べたように、筆者はパンデミック後の大都

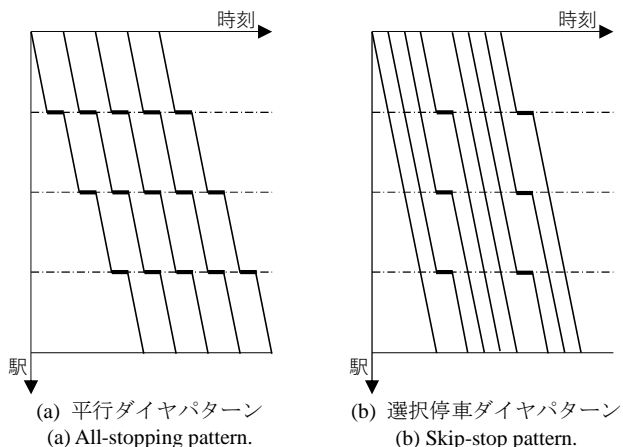


図1 通常の、および高頻度化向けの、ダイヤパターン例の。

Fig. 1. Comparison of “scheduling patterns”: (b) is more suitable for high frequency train timetabling than (a).

市圏の鉄道では抜本的な輸送品質の改善が必須であると考えられるが、その余地を広げるための基礎的な能力として単位時間あたり通過可能な車両数の抜本的な増加が求められる。筆者らの研究グループではその方法についての各種研究を長年行っているが、それらは次のように分類できる：

- (1) (超)高頻度化向きダイヤパターンの開発
- (2) 「れんが壁衝突」制約のなかでの究極の(超)高頻度化手法の開発
- (3) 「れんが壁衝突」制約を外す前提での(超)高頻度化手法の検討

〈3・1〉 (超)高頻度化向きダイヤパターン 一般的に、同一線路上を同一方向に一定速度で巡航する列車同士の最小時隔は 1 分ないしそれを切る程度にまで容易に短くすることができるが、これは複線鉄道における実用的な最小列車間隔である約 2 分に比べてはるかに短い。運行計画における「定石」のようなもの、と説明されるダイヤパターンのなかには、このことをうまく利用して高頻度化に適したものが存在する。図 1(a)のような平行ダイヤは既存路線でよく用いられるパターンだが、高頻度化向きとはいえない。一方、図 1(b)のような選択停車パターンは、図から明らかであるように高頻度化に有利である。

ただし、この種のダイヤパターンは一般に運行管理が困難である。また、図 1(b)のダイヤでは図に表示されている区間を通過する乗客には有利だが、途中駅相互間を乗り換えなしで利用することができない。平行ダイヤのような一般的なダイヤパターンで行われていたサービスを維持しようとすると、運行計画の大幅な複雑化を招き、利用が難しくなることも知られている。

〈3・2〉 「れんが壁衝突」制約のなかでの究極の(超)高頻度化手法の開発 「れんが壁衝突」とは、同一線路上を同一方向に進行する列車同士の間隔制御において、先行列車

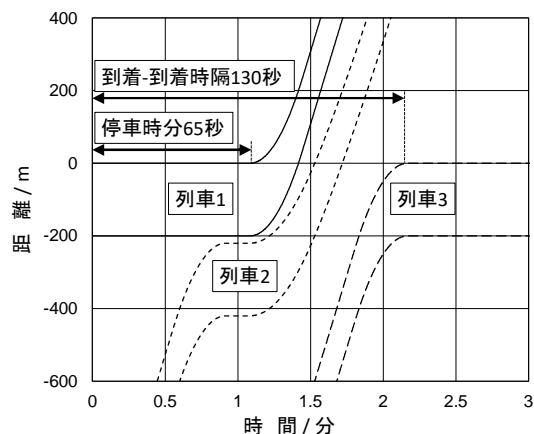


図2 同期制御⁽⁴⁾を用いた高頻度運行の時隔曲線計算例⁽⁵⁾。

Fig. 2. Trajectories of trains under high frequency operation using synchronization control.

の速度を考慮しないことにより、十分な安全を確保する考え方のことをいう⁽²⁾。この考え方のもとでは、純移動閉塞 (PMB: Pure Moving Block)⁽³⁾が最小の列車間隔を実現できる「究極の」信号システムである。この考え方の制約を外すことにより、さらに短い列車間隔が実現できることは古くから理論的に知られている (3 章冒頭の分類⁽³⁾) が、安全面などを考えるとその制約を外すことは難しいとされている。

しかし、PMB で制御される路線において、後続列車は先行列車との間隔が自列車の速度・減速度により定まるある値と同じかそれを下回るまで短くなった瞬間にあるブレーキ減速度でブレーキをかけるが、先行列車が動いている場合に後続列車がブレーキ減速度を維持して速度を下げ続けると、先行列車との間隔が必要以上に開いてしまう。

そこで筆者は、後続列車が先行列車の速度や加速度を考慮して自車のブレーキ減速度を制御することで、後続列車と先行列車の間隔が PMB の定める最小距離である状態を維持する「同期制御」⁽⁴⁾を提案し、これを軸に各種の検討を行っている。図 2 はその例のひとつ⁽⁵⁾である。加減速度が速度によらず 1 m/s^2 とやや高め的前提ながら、130 秒あたり長さ 200 m の列車 2 本 (1 本は駅に 65 秒停車、1 本は機外停車後駅通過) が通せる計算結果で、〈2・1〉の手法との組合せで大幅な高頻度化の可能性があることが示されている。

なお、「れんが壁衝突」制約を外すことはすでに述べたとおり難しいが、その制約を外さない範囲内で行える技術革新として、このほかにも分割・併合の迅速化などいくつかの手法があり、筆者らの研究グループでもそうした検討を行っている⁽⁶⁾。

4. 「全予約化」の可能性と問題点

〈4・1〉 「予約」・「全予約化」とは 3 章で示したように、都市鉄道において抜本的な頻度向上を図る余地は十分にある。それを基礎とすれば、単なる輸送力増強にとどまら

ないさまざまな鉄道サービスの向上も当然可能になるだろう。しかし、特に運行計画の複雑化により、従来の旅客案内手法では対応が難しくなる可能性がある。幸い、スマートフォンなど近年の可搬情報機器類をはじめとする ICT 技術の発展を前提にすれば、その問題は解決可能と考えられるが、良好な案内のためには利用区間などの情報が欠かせない。

こうした情報、ないしはそのもととなる「乗客が鉄道を利用する意思」を、何らかの方法で鉄道システム側に乗客が伝え、その結果として鉄道システム側が必要なアレンジメントをしておくことを「予約」という。「全予約化」とは、「予約」による利用を全利用者に広げる意図を表す。

なお、ここでいう「予約」と、従来の鉄道における座席予約のようなものとは、必ずしも同一である必要はない。例えば、列車の始発駅では、非常に多くの乗客が始発列車をホーム上で整列して待つ行動がよく見られるが、この行動は当該始発列車の座席を予約している行動とも見なしうる⁽¹⁾。

筆者やその属する研究グループは、長年このような手法や、その基盤となり得るシステム（筆者らはそれを UCRT/IPASS⁽⁷⁾ などと呼んでいる）の研究を行ってきた。例えば、類似の考え方ないしシステムとして MaaS (Mobility as a Service) なるものが注目を集めるより以前に、筆者は「ヴァーチャル鉄道事業者」というものについて先行的に提案を行っている⁽⁸⁾⁽⁹⁾が、これは MaaS において提唱されている「モビリティ・オペレータ」⁽¹⁰⁾とほぼ同じ概念であるといえる。

〈4・2〉 「全予約化」の可能性と課題 「全予約化」により、鉄道事業者は利用者に関して従来に比べ格段に精密な情報を得ることができ、それを適切な輸送力の付与に用いることで、需要に見合ったサービスを従来に比べはるかに効率的に提供できるようになる。これに加え、いざというときには乗客に対してその行動の制御というようなところまで含む強い働きかけを行えるようになる（一例を挙げると、パンデミックの最中に乗客同士の物理的距離に配慮した座席配置を行う、といったことは、全予約化状況においてのみ実現可能であろう）から、鉄道事業者側から見れば多くのメリットがあるといえる。

利用者側からも、特に座席利用に関して、なかでも混雑した状況の下でのそれについては、予約ニーズが大きいと考えられる。一方、立席利用に関していえば、座席利用ほどのニーズはないと考えられる。

残念ながら、きちんとした調査は行っていないものの、都市鉄道の「全予約化」に限ればいまのところ肯定的な見方は少ないと感じる。これは、従来の座席予約のようなイメージでこれを捉える結果、主として乗客にとって事前の手続きの煩雑さや、予約による行動等への制約の大きさなどが心配されているからだと考えられる。こうした懸念に対して十分な回答はまだないが、ICT 技術の今後の発展に加え、「鉄

道システムと乗客とを結ぶすべてのもの」という意味でのインタフェース（そのなかには、運賃・料金制度や契約内容などの無形のものも含まれる）全体の改善のなかでの解決の可能性（「予約」概念それ自体の変革もこうした解決策のひとつに分類できよう）も含めれば、今後こうした問題が解消される可能性は十分ある、と考えられる。

さらに、乗客から見て予約ニーズが少ないと考えられる立席利用についていうなら、吉枝ほかの研究⁽¹¹⁾⁽¹²⁾で示されているとおり、輸送力増強のための各種手法を導入するに際して立席に多数の客が立つような混雑状況はそれ自身が大きな障害になるのであり、立席部分での混雑抑制は重要だということである。従って、立席での利用を推奨するような施策（座席利用について割増運賃を適用する等）は好ましくなく、予約なしでの駆け込み乗車等については大幅な割り増し運賃を課するといったことさえ考えられる。

なお、都市鉄道の全予約化には、このほかにも段階的導入プロセスの適切な設計など、さまざまな課題がある。

5. おわりに

都市鉄道の「全予約化」提案は一般にはとっぴなものを受け取られがちであると感じるが、筆者にとっては 1990 年代なかごろに IPASS⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ についての研究をはじめたころからの思考の自然な延長である。逆に、鉄道の大都市旅客輸送市場における寡占状況が自動車の技術革新により揺らぐ可能性が出てきた現在、こうした革新なしに鉄道が 21 世紀後半まで生き残るのは難しいと思われる。

一方、現時点で予想される自動車の技術革新によってもなお、自動車が東京のような大都市で鉄道を凌駕するには輸送力が足りず、必要な輸送力の実現には道路システムの大きな変革が必要であるが、その変革に必要な社会的合意を得ることは政治的には容易ではない、と考える。こうしたことから、今後 10 年ほどのうちにどれほどの新機軸を鉄道が打ち出せるかが鉄道の今後にとって非常に重要である。このことは、まだ鉄道には十分な機会があることを示している、と考えられる。

さらに、〈4・2〉節末尾で述べたことから、立席部分での混雑抑制ができないと、今後必要となるであろうさまざまな改善施策（例えば、2 階建てなど着席率向上のための多座席設計車両の導入）もできないことに注目すべきだろう。文献 (1) で筆者は「混雑をなくすためには混雑をなくせ」というトートロジーのような状況があると述べているが、そういう状況に対し解決策を与えるのが「全予約化」で、その意味で筆者はその方向性を非常に重要と考えている。

この考えが正しいかどうかは多くの方々との議論を通じてさらに思考を深めていきたいが、どのようにそれを実現するにせよ、パンデミックの影響で混雑の低下が（一時的に

せよ) みられる現在は, 大改善に踏み出すチャンスである, と考えている。これが, 筆者が掲げた本稿表題の真意である。

文 献

- (1) 地域政策研究プロジェクト編: 『地域公共交通政策の新展開』, 中京大学経済研究所研究叢書 28, 勁草書房 (2022), 4・5 章
- (2) 電気鉄道ハンドブック編集委員会編: 『改訂電気鉄道ハンドブック』, コロナ社 (2021), p. 430
- (3) Takeuchi, H., Goodman, C. J. and Sone, S.: “Moving block signalling dynamics: performance measures and re-starting queued electric trains”, *IEE Proc.- Electr. Power Appl.*, **150**, 4, pp. 483-492 (2003)
- (4) Takagi, R.: “Synchronisation control of trains on the railway track controlled by the moving block signalling system”, *IET Electr. Syst. Transp.*, **2**, 3, pp. 130-138 (2012)
- (5) 高木 亮: 『鉄道ダイヤがつくれる本』, オーム社 (2019), 図 4-20 (p. 174)
- (6) 倉澤直也, 高木亮: 「2 列車の併結作業における一時停止をなくす方法の検討」, 令 4 電気学会全大, 5-151 (2022)
Kurasawa, N., Takagi, R.: “Development of a Technique to Couple Two Trains Without Making Additional Halts” (in Japanese), *2022 Annual Convention of the IEE of Japan*, 5-151 (2022)
- (7) Takagi, R.: “Reservation-Compulsory Commuting Railways: Innovation that Will Be Made Possible by UCRT/IPASS”, *WIT Trans. Built Environ.*, **181**, 9 (Proceedings of COMPRAIL 2018, Lisboa, Portugal), pp. 225-233 (2018)
- (8) 地域政策研究プロジェクト編: 『鉄道と地域発展』, 中京大学経済学部附属経済研究所研究叢書 21, 勁草書房 (2014), 2 章
- (9) 高木 亮: 「元始, 鉄道は MaaS であった ～「鉄道と MaaS」試論～」, *鉄道車両と技術*, **262**, pp. 5-8 (2019)
- (10) 日高洋祐, 牧村和彦, 井上岳一, 井上佳三: 『MaaS モビリティ革命の先にある全産業のゲームチェンジ』, 日経 BP 社 (2018)
- (11) 吉枝春樹, 小林渉, 岩倉成志: 「移動閉そく信号制御による都市鉄道の超高頻度運行システムの可能性 —田園都市線と半蔵門線のケーススタディ」, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, **76**, 2, pp. 43-62 (2020)
- (12) 岩倉成志: 「都市鉄道の輸送力増強投資額を激減させる超高頻度運行システムの可能性」, 国土交通省 社会資本整備審議会・交通政策審議会技術部会 第 6 回国土交通技術行政の基本政策懇談会, 3-2 (2019), <https://www.mlit.go.jp/common/001298958.pdf> (2022 年 10 月 28 日アクセス)
- (13) 高木亮, 原口竜也, 曾根悟: 「公共交通利用個別支援システム IPASS」, 電気学会交通・電気鉄道研究会資料, TER-97-50, pp. 49-52 (1997)
Takagi, R., Haraguchi, T. and Sone, S.: “IPASS: Intelligent Passenger ASSistance System for Public Transport” (in Japanese), *IEE of Japan Workshop and Transportation and Electric Railways*, TER-97-50 (1997)
- (14) 高木 亮: 「未来の鉄道利用システム IPASS」, 電気設備学会誌, **36**, 2, pp. 109-113 (2016)
Takagi, R.: “The IPASS Concept and the Future of Rail Transport” (in Japanese), *J. IEIE Jpn.*, **36**, 2, pp. 109-113 (2016)