

# 輸送・交通計画分野における研究開発の動向と今後の取り組み

川崎 邦弘\*

## Trend and Future Outlook on Research and Development Activities relating to Train Operation Management and Transport Planning & Marketing

Kunihiro KAWASAKI

The environment surrounding railways is undergoing major changes due to the declining birthrate and aging society, the intensification of meteorological disasters, and further reduction of CO<sub>2</sub>. The expansion of COVID-19, which began in 2020, has had a major impact on the railway business, and we are urgently required to respond to the drastic changes in the needs for mobility in the society. Until now, the Signal and Transport Information Technology Division has focused on research and development to further improve the safety and convenience of train operations and to reduce the cost and burden of operations related to train operation management. We must proceed with research and development in anticipation of the convergence of COVID-19, such as by speeding up our R&D. This paper introduces the purpose and goals of the R & D that carried out in FY2020, focusing on the R & D subjects that the Transport Operation Systems Lab. and the Transport Planning and Marketing Lab. are working on. In addition, the concept and policy of research and development for responding after COVID-19 subsided is described.

キーワード：運行管理，需要予測，デジタル技術，COVID-19

### 1. はじめに

少子高齢化による人口減少や、気象災害の激甚化による被害、あるいはCO<sub>2</sub>削減のための省エネルギー化への要求など、鉄道をとりまく環境は大きく変化してきている。さらに、2020年から始まった新型コロナウイルス感染症（以下COVID-19）の拡大により鉄道事業も大きな影響を受け、ウィズコロナの社会における移動に対するニーズの劇的な変化への対応が急務となっている。

これまで鉄道総研では、列車の運行のさらなる安全性向上と利便性向上、運行に係る業務の負担軽減やコストの削減に資するための研究開発に重点を置いて取り組んできたが、研究開発のさらなるスピードアップを図り、COVID-19の収束後を見据えて研究開発を進めなければならぬと考えている。

本稿では、運転システム研究室、交通計画研究室が取り組んでいる研究開発を中心に、2020年度に実施した研究開発の概要を紹介するとともに、ウィズコロナ社会への対応に向けた研究開発の考え方、方針について述べる。

### 2. 2020年度に実施した研究開発

鉄道総研報告 第34巻 第2号では、2019年度までに得られた主要な研究開発成果の一部と、2020年度から

スタートした基本計画「RESEARCH 2025」の概要と研究開発の取り組みについてご紹介させて頂いた<sup>1)</sup>。今号では、2019年度に終了した研究開発の成果について詳細をご報告する特集として論文を構成したので、本稿では、今年度を実施した研究開発をご紹介したい。

基本計画「RESEARCH2025」では、研究開発活動の基本方針として、(1)安全性の向上、特に自然災害に対する強靱化、(2)デジタル技術による鉄道システムの革新、(3)総合力を発揮した高い品質の成果の創出の3点を掲げている。信号・情報技術研究部では、この基本方針に則り、2020年度は鉄道の将来に向けた研究開発5件、実用的な研究開発9件、鉄道の基礎研究21件の計35件を設定、実施した。

各研究開発の目標別の件数は、低コスト化が14件と最も多く、安全性の向上が10件、利便性の向上が11件とほぼ同数である。これらの研究開発のうち約半数は、機械学習や画像処理、データ分析、無線ネットワークなどのデジタル技術の活用によって課題解決を目指すものである。

なお、省エネルギー化に関しては、鉄道の将来に向けた研究開発の大課題の一つとして電力技術研究部が主管する「電力ネットワークの電力協調制御による低炭素化」において、省エネ運転に関する研究開発を運転システム研究室が担当している。

次章では、運転システム研究室と交通計画研究室の主なテーマにおける2020年度の取り組みを紹介する。

\* 信号・情報技術研究部長

### 3. 2020 年度実施テーマにおける取り組み

#### 3.1 運転システム研究室

##### 3.1.1 列車ダイヤの定時性評価手法

ダイヤ改正案の作成にあたっては、利用者の到達時間、列車頻度、乗換回数、遅延、運行コスト等、多様な観点から詳細に分析、評価し、他の複数の案と比較、決定するのが理想である。しかし、現状では、ダイヤ改正案の作成、評価には、多大な時間と労力がかかるため、複数案の詳細な分析、定量的な比較評価が困難となっている。

そこで、本研究開発では、将来的には複数ダイヤ案の自動提案、評価による業務の品質向上と効率化の実現を念頭に、まず列車ダイヤに対する評価手法の確立を目指した。特に列車遅延に着目し、遅延の観点から列車ダイヤを定量的に評価する手法を構築した<sup>2)</sup>。

具体的には、まず日々の実績遅延データから各箇所の遅延が波及した範囲を特定し、波及範囲の列車と駅の数で遅延の影響度として定量的に評価する手法を構築した。そして、一定期間（1ヵ月等）の影響度の平均値が大きい箇所を、優先して遅延対策を検討すべき箇所として抽出する手法を考案し、これらを搭載した遅延対策支援システムを開発した（図1）。これにより、ダイヤ改正の前後のデータに対して提案した評価手法を適用することで、遅延対策の効果の定量化を可能とした。

本システムにより、遅延対策の妥当性を定量的に、かつ短時間で評価できるため、定時性向上対策の立案に要する期間を従来の5分の1程度とすることができ、業務の効率化が期待できる。



図1 遅延の影響度評価手法の適用例<sup>2)</sup>

##### 3.1.2 旅客の列車選択嗜好モデルの構築

列車の乗車人数を推定する手法の一つに、自動改札機から得られるデータを用いる手法が開発されてきているが、これまでの手法では、複数の異なる行動傾向を持つ旅客が一定の割合で存在することを前提として、旅客の乗車経路の推定を行っていた。しかし、利用者の乗車経路の選択嗜好は利用する路線や状況に依存することから、推定精度を向上するためには、旅客が列車を選択する嗜好に影響する要因を把握する必要がある。

そこで、本研究開発では、自動改札機から得られるデータや列車運行実績データ、オープンデータ等を用いて旅

客の列車選択嗜好を分析するとともに、分析結果に基づいて列車の乗車人数を推定する手法を構築してきた。

具体的には、自動改札機から取得できる旅客の利用実績データを用いて、機械学習の一手法である決定木によって旅客の列車選択嗜好の傾向を左右する要因を抽出し、この抽出結果から乗車経路を推定する手法を提案した。また、実際のデータを用いて旅客の列車選択嗜好を決定する決定木を構築して、経路推定を試行し、おおむね妥当なモデルが得られていることを確認した(図2)<sup>3)</sup>。

本手法により、数理的な推定モデルに不慣れなダイヤ作成担当者でも直感的にどの要因が列車選択嗜好に影響を与えているかを把握することができる。

今年度中に、旅客の列車選択嗜好を反映した列車の乗車人数推定手法を構築し、推定結果の検証を行う。本研究開発終了後は、推定対象とできる期間・線区・駅間を増やすとともに、ダイヤ乱れ時のデータを除外するプロセスを加えるなどの改良を行うことで、さらに精度の高いモデルの構築を目指す予定である。

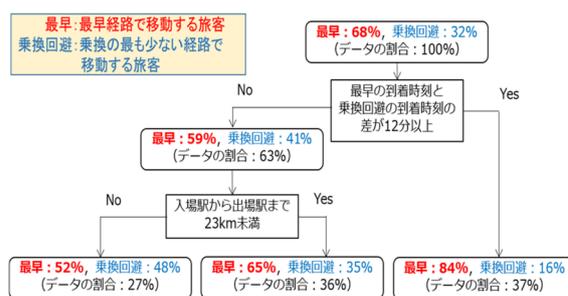


図2 構築された決定木の例（一部）<sup>3)</sup>

#### 3.2 交通計画研究室

##### 3.2.1 鉄道輸送サービスが路線愛着度に与える影響に関する研究

鉄道事業者は10年先20年先を見据え、新駅設置や新型車両の投入などの設備投資をはじめ、ダイヤ改正といった列車設定の見直しなど多岐にわたる施策を実施している。人口減少が進展するわが国において、鉄道が安定した需要を獲得し続けていくためには、これら中長期的な視野に立つ施策によって、沿線住民の鉄道路線への愛着度を高めることが効果的であると考えられる。

そこで、都市鉄道を対象に鉄道輸送サービスと鉄道路線への愛着や、将来にわたる居住意向との関係を定量的に分析する手法についての研究を進めている。その基礎的な検討のため、データ分析やマーケティング分野等の学術的知見を活用した、鉄道輸送サービスに関する利用者の価値観や満足度と路線への愛着に関する実態把握のための調査を行い、これらに影響を与える鉄道輸送サービス因子の抽出、体系化を行った(表1)<sup>4)</sup>。

その結果、たとえば路線に対する愛着度については、

表1 輸送サービスに対する意識調査結果の例<sup>4)</sup>

大分類	小分類	重要度 <sup>1)</sup>		満足度 <sup>2)</sup>
		大分類	小分類	
運賃	—	0.135	—	3.15
所要時間	定時性	0.155	0.069	3.01
	速達性		0.041	3.38
	速達列車が利用可能		0.044	3.55
運行本数	列車本数	0.155	0.102	3.57
	最終電車が遅い		0.053	3.31
列車ダイヤ	運行間隔が等間隔	0.111	0.039	3.31
	発車時刻の統一性		0.027	3.09
	緩急接続		0.046	3.47
	—			—
アクセス	ターミナル駅への直通	0.118	0.044	3.60
	他路線、他社線へのアクセス		0.048	3.57
	新幹線、空港へのアクセス		0.025	2.91
	—			—
混雑状況	車内が混雑しない	0.122	0.052	2.50
	着席可能性		0.048	2.74
	有料着席サービス		0.022	3.02
車両	車両の新しさ	0.055	0.017	3.31
	デザイン		0.013	3.30
	トイレがある		0.014	2.55
	座席がクロスシート		0.011	2.78
駅設備	駅機能、駅デザイン	0.073	—	3.24
	駅やトイレが綺麗、清潔		—	3.27
	駅構内に売店コンビニ		—	3.41
	駅や駅周辺の生活利便性		—	3.67
安全安心	バリアフリー設備	0.091	—	3.11
	ホーム上で不安を感じない		—	2.78

※1：全体を1としたときの相対評価

※2：1~5の5段階評価の平均。値が大きいほど満足度が高い

利用年数が長くても鉄道路線に対する愛着度が増すわけではないことや、定時性や速達性、列車本数などの利便性に加え、車両や駅設備の新しさやデザインなどとの関連が比較的高いという結果が得られるなど、路線に対する愛着度と与える要因を解明するうえで有用な結果が得られている<sup>4)</sup>。

引き続き、鉄道利用における各種サービスに対する利用者の価値観と、その地域への継続的な居住意向との関連性について研究を進めている。

### 3.2.2 地域鉄道におけるパターンダイヤの利便性評価

『列車が等間隔に発車する』『1時間サイクルのダイヤである』などの特徴を有するパターンダイヤ(図3)は、旅客や地域に対して分かりやすい輸送サービスを提供する手段の一つとされている。しかし、パターン化されたダイヤが輸送サービスに対する旅客の評価や輸送需要に対してもたらす効果は明らかではなく、輸送施策の検討などにおいてもその効果を十分に考慮できていないのが現状である。

そこで、特に地域鉄道におけるパターンダイヤ導入が利用者の評価にもたらす効果の把握を目指して、利用者の立場からみたダイヤの利便性評価に関する基礎的な分析を実施した。まず、ダイヤのパターン化による利用者の評価の変化を把握するため、全国の地域鉄道路線沿線居住者を対象として、パターンダイヤを含む、異なる特徴を持つさまざまなダイヤに対する利便性評価に関するウェブアンケート調査を実施した。この調査で得られた

データに基づいて、列車の運行本数や列車が等間隔に発車していることなどダイヤの特徴を説明変数としてダイヤの利便性評価を表現する回帰分析を行い、それらダイヤの特徴が評価に与える影響を定量化した。その結果、列車が等間隔に発車すること、列車の時刻が1時間サイクルであることというパターンダイヤの特性が利便性評価を高める効果を有していること、その効果の強さが列車の運行本数の水準によって異なっていることなどが明らかになった<sup>5)</sup>。これにより、地域鉄道路線へのパターンダイヤの導入が利便性向上効果をもたらす可能性が示唆された。また、構築したモデルを実際のダイヤ改正の事例に適用して、改正前後におけるダイヤの利便性評価計算を試行した。

今後は、特にダイヤの覚えやすさや利用者の普段の鉄道利用状況およびダイヤに対する考え方等を踏まえながら、さらに調査と分析を深度化させていく予定である。

時	下り	○○方面	時	上り	□□方面
	~	~		~	~
10	07	22 37 52	10	03	18 33 48
11	07	22 37 52	11	03	18 33 48
12	07	22 37 52	12	03	18 33 48
13	07	22 37 52	13	03	18 33 48
14	07	22 37 52	14	03	18 33 48
	~	~		~	~

図3 パターンダイヤの例

## 4. ウィズコロナ社会に向けた研究開発

冒頭に述べたとおり、少子高齢化、気象災害の激甚化、CO<sub>2</sub>削減への要求といった社会環境の大きな変化に応えるため、これまで信号・情報技術研究部では、列車運行や設備のメンテナンスに係る要員やコストの削減と、災害等の異常時においても安全性を確保しながら運転を早期に復旧・継続できる運行制御システムの実現、そして省エネ運転や蓄電技術等々によるさらなる省エネ化、の3つの目標の達成に資する研究開発に取り組んできた。

しかし、2020年から猛威を振るい始めたCOVID-19の拡大により、日常生活のスタイルや働き方を大きく変えざるを得ない状況となっている。鉄道事業も大きな影響を受け、今後のウィズコロナ社会における移動ニーズの劇的な変化へ対応していくことが急務となっている。

上で述べたこれまでの取り組みは、ウィズコロナの社会で鉄道を維持していくうえで、固定費の削減やニーズの変化に柔軟に対応していくためにも必要な技術の確立に資するものでもある。特に、設備メンテナンスの省力化・自動化と、災害だけでなく感染症拡大時などの異常時においても安全・安定運行を維持するための運行管理の支援あるいは自動化の技術については、研究開

発のスピードをさらに加速させなければならないと考えている。

まずは、多様なデータと最新のデータ処理やAIの活用手法を確立することにより、判断や予測に係る負荷や時間の削減、さらには自動化を目指したい。また、AIを適用する際に用いられる汎用のCPUとGPUなどの高速プロセッサや第五世代移動体通信システム(5G)などの無線通信ネットワークの技術を安全に関わる業務に適用するために必要となる信頼性・妥当性の評価手法と、判断や処理結果の異常を検知する手法を構築することにより、システムや装置の低コスト化と高信頼化を同時に実現することも目指したいと考えている。

さらには、分野横断のデータ共有基盤の構築、列車運行の自律化など、自動運転化と、省設備化・省エネ化を両立できるシステムへと変えていくための将来に向けた研究開発にも取り組んでいきたいと考えている。

また、成果の提供、発信のタイミングを早めることを考えている。これまでは、完成度を高めて実用性や信頼性が確実となった時点での提供、発信を行ってきたが、制約条件がある、あるいは性能が限定的な段階であったとしても、鉄道事業者のニーズに部分的にでも応えられる成果ができた時点で早期に提案、提供していくことが重要と考えている。特にデジタル技術を活用した成果については、ベースとなるデジタル技術自体の進展や陳腐化のスピードが速いため、早期に鉄道事業者へ展開して使って頂きながらブラッシュアップしていくアプローチが必要と考えている。もちろん、安全性や旅客の満足度に直結するような課題については慎重に性能や効果を検証する必要がある、従来と同様にきちんと完成度を高めてから提案、提供しなければならない研究開発もあるので、全ての研究開発の成果を一律に扱うことはせず、鉄道事業者からのご意見を頂きながら、早期に提供すべき研究成果を慎重に選定していく必要があると認識している。

## 5. おわりに

本稿では、2020年度に実施した輸送・交通計画関連の研究開発の概況と取り組み状況を紹介させて頂いた。また、ウィズコロナ社会における鉄道の維持・発展に資するための研究開発への取り組みについても考え方を述

べた。

世界的なCOVID-19の拡大が収まる見通しがたらず、国内でも2020年12月から感染が急速に拡大し、長期的・継続的な感染防止対策が求められる状況となっている。移動に対するニーズは、COVID-19の拡大が収まったとしても、COVID-19前と同じには戻らないことも想定される。鉄道は、社会活動を支える重要な社会基盤であり、列車が安全に安定して運行されることによって、人々の生活における安心感、ひいては社会の安定を支えている。鉄道事業が非常に厳しい状況に置かれている中でも、列車を毎日定時に動かすために努力されている鉄道事業者における業務の省力化、効率化に少しでも資することができるよう、今後の研究開発に取り組むみたいと考えている。また、ポストコロナ社会における人々の移動や物流の形態の変化に対応していくために必要な技術は何かを考え、今後の研究開発に反映させていくことも重要である。社会基盤としての鉄道の維持はもちろん、さらなる発展に少しでも寄与できるよう、国内外の鉄道事業者や先端技術を有する研究機関・メーカー・大学と連携させて頂きながら、研究開発に鋭意取り組んでいきたい。

## 文献

- 1) 川崎邦弘：運行管理業務のデジタル化に関する研究開発の取り組みと今後の展望，鉄道総研報告，Vol. 34, No. 2, pp.1-4, 2020
- 2) 國松武俊，国崎愛子，中挾晃介，坂口隆：遅延の波及範囲の観点による列車遅延データ分析手法，第27回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL 2020)，No. S5-1-1, 2020
- 3) 中挾晃介，國松武俊，辰井大祐，瀧本友晴，坂口隆，武内陽子，国崎愛子：決定木を利用した旅客の列車選択嗜好モデルの構築，リニアドライブ/交通・電気鉄道合同研究会，No. TER-21-010, 2021
- 4) 深澤紀子，奥田大樹，鈴木崇正：鉄道輸送サービスが路線愛着度に与える影響に関する基礎的検討，第26回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL 2019) No. S5-2-2, 2019
- 5) 鈴木崇正，渡邊拓也，奥田大樹，深澤紀子，松本涼佑：地方鉄道路線における列車ダイヤの利便性評価に関する基礎的分析，第62回土木計画学研究発表会・秋大会，No. 7437, 2020