

運行計画と運行管理の高度化に関する海外研究の動向調査

千葉工業大学 情報科学部情報工学科 教授 富井 規雄

1. はじめに

近年、ヨーロッパにおいては、鉄道の運行計画・運行管理に特化した学会や国際会議が新設されるなどの動きがあり、そこでは、鉄道の運行計画や運行管理の高度化に関する多数の研究事例が発表されている。それらの中には、日本においては、ほとんど研究がなされていないテーマも少なくない。

それらの例としては、次のような研究が挙げられる。

- ・ 多数の列車の運行実績データを分析し、それらがどのような確率分布に従っているのかを明らかにする。
- ・ GPS を搭載した列車の走行実績データを分析し、駅間における列車の走行状況と遅延発生メカニズムとの関連を分析する。
- ・ MaxPlus 代数と呼ばれる特殊な代数系を用いて、列車運行の予測などの計算を簡易かつ高速に行なう手法を確立する。
- ・ 駅付近での列車の競合を防止するために、列車の動きを詳細に追跡し、競合の発生を自動的に予測して、競合が回避されるような走行パターンを生成して、それを運転士に伝送する。

昨年、一昨年度において、ヨーロッパにおける「運行計画の最適化アルゴリズム」、「列車ダイヤの頑健性の評価」に関する調査研究を実施し、運行計画を自動的に作成するアルゴリズムや遅延の伝播を防ぐためのダイヤ作成手法等に関する研究動向を調査した。しかし、前述のように、ヨーロッパにおける最近の研究の進展はめざましく、研究内容は多岐にわたる。その中には、日本の鉄道にとって有用であると思われるものも少なくない。

本調査では、ヨーロッパにおいて最近発表された論文を対象として、昨年度までに調査しきれず、また、日本ではあまり取り組まれていないテーマに関する運行計画・運行管理の高度化の研究動向とその内容を明らかにする。

2. 調査対象論文の選定方法

- (1) 対象とする論文集は、IAROR (International Association for Railway Operations Research) 主催の国際会議を主とし、なるべく新しい論文を選ぶようにする。
- (2) 調査対象論文について、タイトルの和訳、抄録、掲載頁、掲載時期を付記する。
- (3) 論文を研究分野（対象とする運行計画の種類、用いている数理的手法など）ごとに分類して研究動向を明らかにする。
- (4) 読者の理解を容易にするために、日本の事情との相異・背景等についても記述するとともに、必要に応じて用語の解説を付記する。

3. 調査結果のまとめ（研究の動向）

- 列車ダイヤに対する評価方法に関する研究が現れてきている。これまでは、ほとんど見られなかった研究テーマである。なかでも、列車ダイヤの attractiveness といった定性的な評価方法を取り扱おうとするアプローチがある（本論文は、Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009 において優秀論文の1つに選ばれている）。
- 「最適化」に関しては、これまでは、「ある指標（遅延等）を最小とするための数理計画手法」という理論的な興味にもとづくアプローチが主であったが、最近になって、利用者（鉄道事業者）の意思（global service intention）をもとにしたり、郊外部と都心部をわけて運行管理アルゴリズムを考案するなど、より実用的な視点からの研究が出現してきている。
- 列車間の競合の防止に関しては、従来通り、多数の研究事例がある。しかし、最近では、地上からの制御だけではなく、運転士に何らかの指示を送って列車側に競合を避けるような動きをさせようとする研究事例がある。
- ゲーム理論やオークション等の新しいアプローチを運行管理等のアルゴリズムに適用しようとする動きが見られる。

4. 調査対象論文一覧

各論文の概要については、報告書の本編に記す。

I 列車ダイヤ等の評価方法に関する新しいアプローチに関する論文

1. Quantitative Methods to Evaluate Timetable Attractiveness, Bernd Schittenhelm and Alex Landex, Technical University of Denmark, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.
2. Examination of Operation Quality for High-frequent Railway Operation, Alex Landex, Anders H. Kaas, Technical University of Denmark, Department of Transport, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.

II 運行管理や列車間の競合の回避について述べた論文

3. RCS – Rail Control System – Realtime Train Run Simulation and Conflict Detection on a Net wide Scale based on updated Train Positions, Dr. phil.-nat. Urs Dolderl, Dr.-Ing. Matthias Krista, Marcus Voelcker, Swiss Federal Railways, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.
4. Conflict-free train scheduling in a compensation zone exploiting the speed profile, Gabrio Caimi, Martin Fuchsberger, Dan Burkolter, Thomas Herrmann, Raimond Wüst, Samuel Roos, Institute for Operations Research, ETH Zurich, Switzerland, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.

Ⅲ ダイヤ作成アルゴリズムについて述べた論文

5. The Periodic Service Intention as a Conceptual Frame for Generating Timetables with Partial Periodicity, Gabrio Caimi, Marco Laumanns, Kaspar Schüpbach, Stefan Wörner, Martin Fuchsberger, Institute for Operations Research, ETH Zurich, Switzerland, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.

Ⅳ ゲーム理論やオークション, マルチエージェントなどの新しいアプローチによる論文

6. Collaborative Rescheduling in a Distributed Railway Control System, Y. H. Chou, P. F. Weston and C. Roberts, University of Birmingham, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.

7. Auction-based allocation of railway network capacity, Andreas Tanner, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.

8. Assuring Convergence to Nash Equilibria for the Train Timetabling Problem, Sebastian G. Klages, RWTH Aachen University, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.

9. Controlling the Normal, not the Exception: Ashby's Law of Requisite Variety in Traffic Management, Jaap van den Top, Felix Laube, Jelle van Luipen, Delft University of Technology, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.

10. A cooperative framework between optimization and simulation to address on-line re-scheduling problems, Laurent Gély, Damien Feillée, Gilles Dessagne, SNCF - Innovation and Research Department, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.

Ⅴ 列車運行実績データの解析に関する論文

11. Identifying dependencies among delays, Carla Conte Anita Schöbel, Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Numerische und Angewandte Mathematik, *Second International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailHanover 2007*.

12. Efficient modelling of delay distribution functions, Thorsten Büker, Ekkehard Wendler, RWTH Aachen University, *Third International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis: RailZurich 2009*.

13. Mining Railway Delay Dependencies in Large-Scale Real-World Delay Data, Holger Flier¹, Rati Gelashvili², Thomas Graffagnino³, and Marc Nunkesser, Institute of Theoretical Computer Science, ETH Zurich, Switzerland, *Arrival Technical Report* No.204, 2009.