

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350437

研究課題名(和文) 数理的最適化に基づく鉄道の計画立案に関する研究

研究課題名(英文) Applications of Mathematical Optimization Models and Algorithms for Planning of Railway Operations

研究代表者

森戸 晋 (Morito, Susumu)

早稲田大学・理工学術院・名誉教授

研究者番号：50134193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では鉄道の計画立案に関する諸問題の解決に資する数理的最適化のモデルと解法の開発を行った。とりあげた主な課題は、乗務員運用計画における休日ダイヤを考慮した行路作成、車両運用計画における交番作成と車両割当、必要車両数の算定、ダイヤ策定に関わる余裕時分の最適配分、鉄道ネットワーク拡張時の最適設計、終端駅と近隣中間駅の能力評価である。

これらの課題に対して数理計画に基づく最適化モデルと解法の開発を行った。休日ダイヤを考慮した行路作成、車両割当問題に対しては列生成法、ネットワーク拡張についてはL-shape法の解法を提案し、大半の課題に対して実際のデータに基づいた計算実験を行い実用性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Models and solution algorithms for planning railway operations have been developed. Topics studied include pairing generation for crew scheduling considering weekend timetables, rolling stock rostering and assignment, evaluation of required number of rolling stock, allocation of running time supplements in timetabling, optimal design of railway network expansion, train platforming at a terminal station and its adjacent station to maximize throughput.

Optimization models based on mathematical programming and their solution algorithms have been developed. Column generation approaches were developed for crew pairing generation considering weekend timetables and also for the rolling stock assignment problem. The L-shaped algorithm was developed for the railway network expansion problem. For most problems studied, computational evaluations of the models and/or the algorithms were performed based on the real data, and their effectiveness was confirmed.

研究分野：経営システム工学

キーワード：鉄道の計画立案 最適化 数理計画 乗務員運用計画 車両運用計画 ダイヤ作成 交番作成 車両割当計画

1. 研究開始当初の背景

我が国は、国土の形態から、鉄道が主たる交通機関となっており、このため鉄道システムは、その規模（路線数、路線延長距離、乗客数、車両数等）や運行の正確性、安全性に関して自他ともに世界のトップと認める状況にある。しかしながら、計画立案におけるコンピュータ支援という観点からは、オランダ、ドイツ、イタリアといった欧州勢に少なからず遅れをとっている（米国は、航空が主要な交通システムであることを反映して、鉄道の重要性は低く、このため、日本や欧州とは状況が異なる）。運用計画立案に関する数理的最適化の基づくアプローチは、米国を中心とする航空業界における乗務員運用計画、いわゆる、Airline Crew Scheduling への数理計画の適用に端を発するが、鉄道においてはオランダ、ドイツ、イタリアを中心とする欧州勢が研究をリードするとともに、実務への応用を積極的に進めている。この分野の代表的研究者には Huisman, Kroon, Maroti, Schrijver(以上、オランダ), Alfieri, Caprara, Toth(以上、イタリア), Borndorfer, Reuther(以上、ドイツ)などが、鉄道事業者としては NS Reizigers(オランダ)や Ferrovie dello Stato SpA(イタリア)などがあげられる。これに比べると、我が国では、鉄道総合技術研究所、大阪大学、豊橋科学技術大学、千葉工業大学、そして、本研究のグループといった研究機関、そして、日立、東芝、三菱電機等業務・実務システムをサポートする企業、JR 東日本、JR 西日本、東京メトロ等の鉄道事業者で検討が行われているものの、全体として量、質ともに欧州勢に遅れをとっていると言わざるをえない。このことを反映して、数理的最適化技術に基づく実際の計画が実務ベースで策定されるという状況にはないと考えられる。こうした背景のもと、本研究の狙いは、このような状況を打開し、計画立案、とくに運用計画立案に関しても、我が国を世界のトップにすることにあり。

2. 研究の目的

(1) 本研究の第一の目的は、乗務員運用・車両運用等の運用計画とそれに隣接するダイヤ作成、施設の投資意思決定に対して、数理的最適化技術に基づく計画策定方法を確立することにある。これまでの研究でモデル化が概ね完了している乗務員運用の基本計画に関しては、研究期間内に計算時間面でも実用に耐える解法の確立をめざす。一方、モデルが確立しているとは言い難い車両運用については、モデルの確立と解法の構築を行い、実際のデータに基づいたモデルの妥当性の検証と解法の効率性の評価を行う。

さらに、乗務員や車両の運用と隣接し、相互に密接に関係するダイヤ作成や、所与のダイヤを実現するために必要となる車両数の算定や鉄道網の投資最適化に対する数理的アプローチを展開する。

(2) 本研究の第二の目的は、鉄道の計画策定を強く意識した上での、数理的最適化技術の開発にある。なかでも、主として列生成法と確率計画法に焦点をあてる。列生成法は、航空業界におけるクルースケジューリングの集合被覆/集合分割定式化に対する有力な解法として早くから注目されており、その後の鉄道乗務員運用計画でもこの方法がしばしば用いられている。しかし、現実側の要請はより大規模問題に対して強いものがあるため更に大規模な組合せ最適化問題を解かねばならず、そのためにも解法の一層の効率化が求められている。一方で、ここ 20 年程の列生成法の実用化はめざましいものがあり、とくに Desrosiers や Elhallaoui などが率いるカナダ、モントリオールの複数大学が関与する研究機関 GERAD における研究に着目している。

解法開発のもう一つのターゲットは確率計画の適用にある。確率計画においては、変動に応じた追加決定を逐次行うことにより、確率変動から生じる制約侵犯を解消することが可能となる。遅延時間の期待値を最小化するダイヤ作成の問題は、大規模シナリオと整数条件を有する確率計画問題となり、厳密解を求めることは非常に困難である。本研究では、Shiina-Tagaya-Morito(2007)の解法に基づく効率的な解法を開発する。また、鉄道網への投資決定や整備の問題は、変動する交通需要の下で投資時期と投資額および、既存設備の更新を考慮しなければならない。この問題は確率的整数計画問題として定式化可能であるが、直接的な整数計画アプローチによると、計算時間が長くなるため最適解を求めることは困難であると予想される。従って、整数条件を考慮した分解型アルゴリズムによる解法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 土休日ダイヤを考慮した乗務員行路作成

乗務員運用計画は、通常、乗務員が一暦日ないしは二暦日にわたる一回の勤務で乗務する一連の列車を定める行路の作成と、行路の勤務順序を定める交番の作成という二段階のステップで行われる。今回取り上げたのは、このうち、行路の作成である。行路作成は、集合被覆/集合分割問題として定式化されることが多く、古くから研究が進められている。

行路の作成は定められた鉄道ダイヤの下で行うが、従来の研究のほとんどすべては、一種類のダイヤが繰り返されていることを想定している。ところが、実際のダイヤは平日と土休日で異なることが多く、一種類だけのダイヤ、たとえば、平日ダイヤで作られた夜勤行路は、平日と土休日の両者にかかる場合は手直しが必要となり、その手間は馬鹿にならない。そこで本研究では、平日と土休日という二種類のダイヤが存在することを想定した場合の行路作成方法を取り上げる。

Chen, Morito, Imaizumi(2015)では、行路作成を集合被覆モデルで定式化し、列生成法に基づいて求解している。列生成にあたっては、平日の行路(日勤または夜勤)、土休日の行路(日勤または夜勤)に加えて、平日と土休日にまたがる夜勤行路を生成する方法を考える。

(2)必要車両数の算定

鉄道事業者は列車の運行内容をダイヤに定め、そこに運用計画に基づき車両を割り当てる。車両は高価な資源で必要最低限の所要数の保有が必須であるが、一方でその寿命は30年から40年程度で、技術の進歩や周辺環境の変化から新系列の車両を逐次の開発・導入が通例である。それゆえ線区によっては複数の系列が混用される。

ところで、短期的には当該ダイヤに対して保有数以下での運用を実現する必要があり、車両の性能と列車の性格を踏まえた車両割り当てを行うが、中長期的には編成長の変更や車両の転入出による車両の増減、陳腐化した車両の淘汰やその置き換え車両の導入の意思決定も必要である。さらに時間帯によって旅客需要が異なる場合、分割・併合により、現場における作業の手間と引き換えに輸送力に弾力性を得る。このような場合、車両の編成長も含めて編成数・車両数を決定する必要があるが、性能の違いにより異系列間の混結が不可能な組合せが存在することなどから、意思決定は極めて複雑になる。

そこで、多品種流ネットワークを用いた鉄道の必要車両数算定モデルを構築し、最適化を通じた、中期的な視野での車両数算定の方法を提案する。本研究では、複数の車両系列、異なる長さの車両編成が存在し、また分割・併合が行われる運用状況を、多品種流ネットワークフロー問題として定式化する。

(3)余裕時分の最適配分

首都圏の通勤・通学路線の平日のピーク時、特に朝の都心部へ向かう列車の混雑は激しい。混雑率の高い列車に対して多くの旅客が乗降を行うと、所定の停車時間よりも乗降時間がかかり遅延が発生する。これに対し、余裕時分と呼ばれる時間のバッファを停車時間や駅間の運転時間に加えておくことで、列車の遅れに対して頑健な列車ダイヤを生成することが考えられている。本研究では、遅延の期待値を最小化するように余裕時分を最適に配分することを目的とする。

Kroon et al.(2008)は、余裕時分配分の最適化を行う最適化問題に対し近似解法を示した。ここでは余裕時分の配分をする上で、運行区間における変動時間を不確実なものとして確率変数と定義した。また、対象区間全体で設けられる余裕時分の総和の上限は与えられていたが、各運行区間に配分される余裕時分に制限は存在していなかった。Vekas et al.(2012)らの研究では、この問題を遅延の期待

値を最小化する確率計画問題として定式化した。解法の詳細は示されていない。

本研究では、これらの問題設定には無かった各余裕時分の上下限を設けた。直接大規模確率計画問題を解くことは困難な場合があるため、この問題を解く L-shaped 法による効率的な解法を開発する。

(4)ネットワーク拡張の最適化

本研究では、鉄道への多期間にわたる投資決定問題を考える。顧客の交通需要は確率変数に従うものとし、鉄道ネットワークを拡張する計画を考える。ここでは、鉄道ネットワークにおける区間容量は、単位時間あたりに走行できる列車の数の上限と考える。区間容量を拡張する方法としては、待避線や信号機を増設することや、複線を引くといったものが挙げられる。それぞれの方法で拡張できる容量や費用は異なり、これらの方法をどのように組み合わせるかが容量拡張の選択肢となる。この多期間計画では、どの区間をどの選択肢で拡張するか、いつ拡張するかを考え、需要変動を考慮して期間ごとの費用の総和の期待値を最小化する。この問題に対し、効率的な解法を開発することを目的とする。

(5)車両の交番作成

車両運用計画では、我が国の場合、通常、各車両の一日分の使用計画である仕業に対して、一日ごとに車両に割り当てられる仕業の順番を定め、各車両がすべての仕業に循環的に割り当てられるような交番を作成する。与えられたダイヤに対して使用する車両編成数、すなわち、交番日数を最小化する交番を数理計画によって求めることを考える。

今回は、Giacco et al.(2014)の整数計画モデルをもとに、目的関数や制約条件を修正し、我が国の3路線、8種類のダイヤデータに対して、計算実験を行っている。

Giacco et al.のモデルはすべての車両編成が同一形式であることを想定しているが、実際には、複数の形式の車両編成が使われることを想定して交番を作成しなければならない場合がある。本研究では、基本編成とラッシュ時に使用する増結用の付属編成の2種類の車両編成、および、旧型と新型の2種類の車両編成が存在する場合を想定し、Giacco et al.のモデルを拡張するとともに、その性能を計算実験によって評価する。

(6)車両割当計画

交番だけで車両運用が完結することは少ない。これは、土休日などのダイヤが平日のダイヤと異なったり、なんらかの理由によって交番通りの運用ができなくなるためである。このため、車両割当計画によって、直近の車両割当を決定する必要がある。同一ダイヤが繰り返されるという想定のもとで作成する交番が循環的な車両の割り当てを定め

るのに対して、車両割当計画では、有限の計画期間を想定して、計画期間内の車両割当を決定する。

有限期間の車両割当問題に対して、Lai et al.(2013)が数理計画モデルを提案しており、本研究では、台湾ならびに日本のデータをもとにLaiらのモデルの評価実験を行うとともに、定式化を集合分割/集合被覆型の主問題表現に変えて、列生成法の適用を試みる。1か月程度の計画期間に対して、実際に適用可能と考えられる車両割当計画を作成可能な方法の構築を目標とする。

(7) 終端駅・中間駅の能力評価

都市間鉄道や都市鉄道の起点のターミナル駅は多数の列車の発着がある一方、列車の増発がさらに求められる。列車間隔の短縮は信号設備への投資を要し、ホームの増設は用地取得の問題がある。そこで、終端駅に隣接する中間駅を折り返し駅とする方法が考えられる。この状況を表現した数理計画モデルを構築し、続行時隔、交差支障時隔など列車運行上の各種の時間的設定値が列車本数に与える影響を数値実験で明らかにし、列車ダイヤ策定・鉄道経営に資する基礎情報を与える手段を提示する。

具体的には、東海道新幹線の東京駅と品川駅、東北新幹線の東京駅と上野駅を考え、おおむね実際の配線、ホーム数を想定した上で近隣中間駅での折り返しが最大列車本数に与える影響を分析する。

4. 研究成果

(1) 休日ダイヤを考慮した乗務員行路作成

平日ダイヤと土休日ダイヤで運行される日が混在していても、両ダイヤにまたがる夜勤行路を生成できる行路作成アルゴリズムを列生成法により構築している。このアルゴリズムは2段階からなり、一段階目では平日ダイヤをもとに、通常の行路生成と同様、列生成法により平日ダイヤの下での行路(日勤、夜勤)を生成する。次に、二段階目で土休日ダイヤをもとにした土休日行路(日勤、夜勤)を生成するが、この際、土休日夜勤行路は一段階目で作成した平日夜勤行路と1:1対応するように生成し、土休日夜勤行路としての条件を満たすだけでなく、生成される土休日夜勤行路の一日目(二日目)と対応する平日夜勤行路の二日目(一日目)から構成される土休日・平日混合夜勤行路(平日・土休日混合夜勤行路)が行路としての条件を満たすように生成する。

数値実験では、約170列車からなるJR奈良線のデータを用い、平日行路の生成を約1500秒、土休日行路と混合行路の生成を30秒程度(使用計算機はCore i7-3770s, 8GBメモリ)で行えることを確認している。なお、平日行路と対応する土休日行路は類似していることが好ましいが、どのようなときに、類似度の高い行路が生成可能かについても

分析している。

(2) 必要車両数の算定

本研究では、複数の車両系列、異なる長さの車両編成が存在し、また分割・併合が行われる運用状況を想定した上で、鉄道の必要車両数の算定を多品種流ネットワークフロー問題として定式化している。

基本的な定式化を示した上で、国内の実際の車両・線区(JR西日本、網干総合車両所所属の221系、223系(0番台、6000番台)、225系、またこれら車両が担当する線区・列車)のデータを用いて、計算実験を行っている。ここでは、まず計算時間などの面から実用性を確認した上で、いくつかのシナリオを設定し、分析例を示した。

計算は、Core i7-3770K, 32GBメモリのPCにて、その時点でのダイヤを入力としたインスタンス(列車数は400以上、網干の所属車両数は約800両)に対して最適化に概ね3時間半程度を要したが、中期的な意思決定を行う上では十分許容できる。

一方、シナリオ分析は、

- ・分割併合駅の変更の影響
- ・併結可能系列ポリシーの変更の影響
- ・転出車両が生じる際の捻出可能数の算定
- ・淘汰車両の発生に伴う車両の新製数の算定

など状況を想定し、必要に応じて一部定式化の変更(目的関数の置き換え、制約条件の追加)を含めて行った。これらのシナリオでは、「現状」に対するこれら変更の影響を、車両数(各系列、各系列の編成長ごとの編成数、トータルの車両数)において分析している。これらを通じて、本数理モデルが鉄道事業者の車両数や車両運用にまつわるいくつかの重要な意思決定に資することを示している。

(3) 余裕時分の最適配分

鉄道における余裕時分最適化問題に対しては、本研究で提案したモデルを用いて、数値実験を行った。区間内に存在するトリップを6、各トリップで発生する遅れの取りうる値の数をいずれも8とし、各トリップで発生する遅れを確率変数と定義し、大きな遅れまたは小さな遅れのどちらかが発生するものとする。

従来モデルを用いた場合、トリップごとに配分される余裕時分の値の差が大きい。本研究で示されたモデルでは、余裕時分の上下制限約を与えることにより、各トリップに強制的に下限値以上の余裕時間を与えている。上下制限約がない場合、遅延が大きくなるようなトリップに集中的に余裕時分が配分されるということが起こり得るため、その結果変動が大きくないトリップには余裕時分の配分が少なくなり、遅延時分の発生率を上げる結果となった。このように強制的にある一定の余裕時分を設定することは、遅延に対する緩衝となり、過密なスケジュールを回避することが可能となる。

また Shiina, Imaizumi, Morito(2016)では、大規模問題に対する解法の効率性を示している。

(4)ネットワーク拡張の最適化

鉄道のネットワーク拡張問題を多期間の確率計画問題として定式化する。目的関数は拡張工事費用と列車走行費用および需要未充足に対するペナルティの期待値の総和の最小化である。制約条件は拡張費用に対する予算の上限、リンクの拡張工事回数、リンクを走る列車の総数が初期容量と拡張容量の和以下であること、実際のODペアで運行される列車数を表す制約、充足される需要量などを含む。

この問題は、0-1変数を含む大規模な確率計画問題であり、シナリオ数が増加するにつれ、計算時間の増加が懸念される。よってBenders分解に基づくL-shaped法による解法を考える。L-shaped法のアルゴリズムは、最適性カットと呼ばれる追加制約により運行に関する費用を近似する。

この多期間確率計画問題に対し、混合整数計画として直接解く解法と、L-shaped法による解法を比較する。5期間にわたる計画を考え、各期におけるシナリオ分岐数を2から5まで変化させて計算を行った。結果から大規模問題において、L-shaped法の計算時間が短くなった。またシナリオ分岐数が増加するにつれ、計算時間の差が大きくなった。よって開発したL-shaped法の方が効率的である。

日本国内では、今後都市部に住宅や仕事を集約し、新たな街づくりを行うためにLRT(ライトレールトランジット)などの導入が検討されている。新たな鉄道や地下鉄を建設することは困難であるとしても、LRTの導入は従来の公共交通ネットワークを補完し、機能させるために有効である。このような計画手法を、LRTなどの導入計画に応用することが今後の課題である。

(5)車両の交番作成

Giacco et al.(2014)の計算実験では、最大でも列車数100程度のインスタンスしか扱っていないのに対して、今回は最大328列車の、より規模の大きいインスタンスに対してGiaccoらの最適化モデルの実験的評価を行い、Giaccoらのモデルの有効性を確認している。一方で、検査制約と回送数上限制約のもとで交番長の最小化を図るGiaccoらのモデルでは、得られる結果に問題がありうることを指摘し、検査回数制約や、交番長上限制約を設けた上で回送距離の最小化を考慮する必要性などを指摘している。また、列車数が多い規模の大きい問題に対しては、回送数上限、検査数上限、あるいは、交番長上限などの制約の上限値を甘めに設定して最適化を行うと計算時間の増大を招く可能性が高いことを明らかにし、段階的にモデルの制約を狭めることの有効性を示している。

また、Morito, Shiina, Imaizumi(2017)は、複数の車両形式が存在する場合のGiaccoらのモデルの拡張を示し、二つのシナリオに対して具体的な計算実験を行い、拡張モデルが、Giaccoらのモデルやその変形と同様、効率よく解けることを示している。

(6)車両割当計画

車両割当計画に対するLai et al.(2013)の数理計画モデルの計算実験を行ったところ、計算に時間がかかり、同等のインスタンスに対してもLai et al.に書かれている4週間にわたる車両割当計画を得ることはできず、せいぜい1週間分の計画しか得ることができない。しかも、有限期間の計画であるため、計画期間の後半にまったく検査が行われられないという終端効果が現れ、適切なスケジュールを得ることができない。このような状況は、Lai et al.の台湾の新幹線のインスタンスでも、我が国の新幹線のインスタンスでも変わらない。

これに対して、Morito, Takehi, Imaizumi, Shiina(2016)では、交番検査回数に上下限制約を設け、かつ、ローリングスケジュールを適用することによって、4週間にわたる計画を生成できることを示している。

また、Morito, Imaizumi, Miura, Shiina(2016)では、集合分割型の主問題に対して列生成法の適用を試みたところ、やはり、計算時間の長さや終端効果の影響で、1週間分の計画すら満足に生成できないことが明らかにしている。これに対して、主問題の定式化を、計画期間の後半では車両の仕業への割当に重複や未割当を許す集合分割/集合被覆混合型に変えたところ、計算時間の大きな増加なしに計画期間を長くすることができ、計画期間前半の終端効果を大幅に軽減できることが分かり、数理計画による最適化とローリングスケジュールとを併用することによって1か月程度の計画を得ることに成功している。

(7)終端駅・中間駅的能力評価

都市間鉄道などを念頭に置き、終端駅近隣の中間駅の列車増発への効果を定量的に評価する数理モデルを構築し、計算実験を行っている。具体的には、1)中間駅の列車本数への貢献は、終端駅のホーム数、中間駅のホーム使用法、また最小折り返し時分の設定で異なる、2)ホームが少ない際には折り返し時分を詰めてもそれを完全には補償しきれず、中間駅の意義がより高い、3)最小折り返し時分が長くなるにつれて、中間駅での折り返しを許すことの列車本数の増加に対する貢献が大きくなる、などの結論を得ている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計11件)

[1] S. Morito, N. Fukumura, T. Shiina, J. Imaizumi, Rolling stock rostering optimization with different types of train-sets, Proceedings of

International Symposium on Scheduling 2017, Nagoya, June 23-25, 2017.(査読有)

[2] T. Shiina, T. Takaichi, Y. Li, S. Morito, J. Imaizumi, Multistage stochastic programming model for the capacity expansion of railway network -solution algorithm based on the L-shaped method-, Proceedings of International Symposium on Scheduling 2017, Nagoya, June 23-25, 2017.(査読有)

[3] 今泉淳, 日本の鉄道車両運用計画作成のための数理モデルに関する概観, 経営論集, 東洋大学, 89号, 21-33, 2017.(査読無)

[4] Y. Morooka, N. Fukumura, T. Shiina, J. Imaizumi, S. Morito, Rolling stock rostering optimization based on the model of Giacco et al.: computational evaluation and model extensions, Proceedings, 7th International Conference on Railway Operations Modeling and Analysis-RailLille2017, 709-725. (査読有)

[5] S. Morito, K. Hara, J. Imaizumi, S. Kato, Train platforming at a terminal and its adjacent station to maximize throughput, Operations Research Proceedings 2015, 181-188, 2017.(査読有)

[6] S. Morito, Y. Takehi, J. Imaizumi, T. Shiina, Optimization models for multi-period railway rolling stock assignment, Combinatorial Optimization: 4th International Symposium, ISCO2016, Vietri sul Mare, Italy, May 16-18, 2016, Springer, (査読有)

[7] 椎名孝之, 揚原由統, 今泉淳, 森戸晋, 確率計画法に基づく列車の余裕時分配分最適化, 日本応用数理学会論文誌, 26(3), 307-317, 2016. (査読有)

[8] T. Shiina, J. Imaizumi, and S. Morito, Multistage stochastic programming model for optimizing allocation of running time supplements, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 10(3), 2016. (査読有)

[9] T. Hirota, S. Morito, and K. Hara, An efficient column generation heuristic for vehicle routing problem with multiple use of vehicles in a rental business, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 10(3), 2016. (査読有)

[10] M. Tsunoda, J. Imaizumi, S. Morito, A model for estimating the required number of train units under split-and-merge policy for decision making in railways: A mathematical formulation by integer multi-commodity network flow, Proceedings, 6th International Conference on Railway Operations Modeling and Analysis-RailTokyo2015, 113-1-113-19. (査読有)

[11] Y. Chen, S. Morito, J. Imaizumi, Railway crew pairing with weekend considerations: Modeling and solution, Proceedings, 6th International Conference on Railway Operations Modeling and Analysis-RailTokyo2015, 124-1-124-15. (査読有) (備考: この論文は

RailTokyo2015 の Best Papers の一つに選ばれた)

〔学会発表〕(計 5 件)

[1] 高市智章, 李宜格, 椎名孝之, 森戸晋, 今泉淳, 鉄道ネットワーク拡張問題に対する確率計画法の応用, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会, 沖縄県市町村自治会館(沖縄県那覇市), 2017年3月.

[2] 高市智章, 椎名孝之, 森戸晋, 今泉淳, 鉄道のネットワーク投資問題に対する確率計画法の応用, 日本経営工学会秋季大会, 日本教育会館(東京都千代田区), 2016年10月.

[3] 諸岡祐太, 福村直登, 椎名孝之, 今泉淳, 森戸晋, 鉄道車両運用計画における交番作成の数理計画モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016年秋季研究発表会, 山形大学(山形県山形市), 2016年9月.

[4] S. Morito, J. Imaizumi, M. Miura, T. Shiina, A column generation approach to multi-period railway rolling stock assignment, OR2016 Hamburg - International Conference on Operations Research, Hamburg(Germany), 2016年9月.

[5] 揚原由統, 椎名孝之, 今泉淳, 森戸晋, 確率計画法に基づく列車の余裕時分配分最適化, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2015年春季研究発表会, 東京理科大学(東京都新宿区), 2015年3月.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

森戸研 <http://www.morito.mgmt.waseda.ac.jp>

今泉研 <http://www.prod.mng.toyo.ac.jp/~ima/>

椎名研 <http://www.shiina.mgmt.waseda.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

森戸 晋 (MORITO, Susumu)

早稲田大学 理工学術院 名誉教授

研究者番号: 50134193

(2)研究分担者

今泉 淳 (IMAZUMI, Jun)

東洋大学 経営学部 教授

研究者番号: 00257221

椎名 孝之 (SHIINA, Takayuki)

早稲田大学 理工学術院 教授

研究者番号: 90371666

(3)研究協力者

加藤 怜 (KATO, Satoshi)

福村 直登 (FUKUMURA, Naoto)