

鉄道のスケジューリング問題：難しさと面白さ

富井 規雄

本特集号全体に対する基礎知識を与えるために鉄道のスケジューリング問題を概観し、その難しさと面白さ、研究開発の状況について述べる。

キーワード：鉄道，スケジューリング，運行計画，最適化

1. 鉄道はスケジュールである

鉄道技術に関する基準を定めた国土交通省令「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」には、「列車の運転は、…停車場における出発時刻、通過時刻、到着時刻等を定めて行わなければならない」とある（99条）。鉄道の特徴のひとつは、このように、列車の運行にかかわるスケジュール（以下、「運行計画」と呼ぶことにする）をあらかじめ作っておくことにある。そして、その運行計画を、運転士、車掌、駅員、指令員などの関係者、そして利用者とも共有することが鉄道の列車運行の基本である[1]。

本稿では、本特集号の記事を読むための基礎知識として、鉄道のスケジュール問題について、その内容を概観し、あわせて、その研究開発状況、難しさと面白さについて述べてみたい。

2. 鉄道のスケジューリング問題とは

2.1 内容からの分類

鉄道の運行計画は、その内容からは、列車の運行に関する計画、車両の使用順序に関する計画、乗務員の勤務に関する計画、駅や車両基地の構内作業に関する計画の4種類の計画からなる（図1）。これらをそれぞれ、列車計画、車両運用計画、乗務員運用計画、構内作業計画と呼ぶ[2]。

列車計画とは、列車¹の運転区間、運転線路、各駅の着発時刻、各駅での使用番線等を定めた計画のことをいう。**列車ダイヤ**とも称される。

車両の使用順序に関する計画は、**車両運用計画**と呼ばれる。車両運用計画は、仕業（しぎょう）と交番

（こうばん）からなる。仕業では、1日の編成の動きを定める。あわせて、車両の点検（検査：月単位程度で行われる交番検査と、数日ごと程度の周期²で行われる仕業検査）、清掃、給油（ディーゼルカーの場合）、給水（特急列車などの場合）等を行う場所とタイミングについても規定しておく。交番とは、仕業が実施される順序を規定した計画のことをいう[2][3]。

乗務員運用計画は、車両運用計画と類似の構造を持つ。すなわち、乗務員運用計画も、行路と交番からなる。行路は、乗務員（運転士と車掌）が出勤してから退勤するまで（1日または2日以上のこともある）に担当すべき作業（列車の運転、便乗、入換や車両の看視など）を定める。交番は、車両運用と同様に、行路の実施順序を規定する[2][3]。

構内作業計画は、駅や車両基地における車両の移動（入換）やそれに付随する作業（駅の場合、車内の点検、分割・併合等、車両基地の場合、仕業・交番検査、

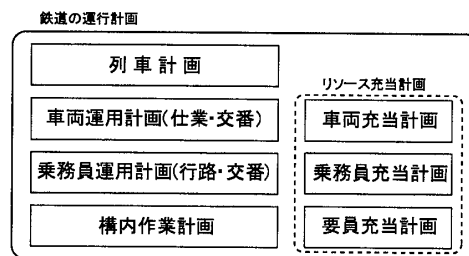


図1 内容による鉄道の運行計画の分類

¹ 鉄道部内では、列車とは、「停車場外の線路を運転させる目的で組成された車両をいう」と定義される（「鉄道に関する技術上の基準を定める省令第二条」）が、通常走行している通勤電車や特急列車・貨物列車などを総称していると理解していただいて差支えない。

² 検査の周期については、検査の種別ごとに、車種等に応じて詳細な規定がある。交番検査は、走行距離と使用日数によって規定される。また、検査の名称は、会社によって異なるが、考え方は同じである。

とみい のりを

千葉工業大学 情報科学部

〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1

分割・併合、清掃、給油・給水等)のスケジュールのことをいう。入換は、駅においては、車両を引上線にいったん移動させたいときや到着番線と発車番線が異なるとき、車両基地においては、前述の作業を実施できる番線に車両を移動するとき等に必要になる。あわせて、作業を担当する要員の作業スケジュールも定める。

車両、乗務員、構内作業については、運行計画を実施する前に、物理的なリソースを割り当てておく必要がある(リソース充当計画)。例えば、乗務員運用計画の場合、各日の各行路をどの乗務員に担当させるのかを決めておくことが必要になる。これは、みかけはNurse Scheduling Problem (NSP)と類似している。しかし、鉄道の乗務員は交番で指定された順序で充当されていくのが原則であるため、NSPのような難しい問題とはならない。逆にいえば、毎月NSPのような難しい問題を解く必要をなくすために、交番という考え方が採用されているとも考えられる。ただし、特に、車両運用の場合には、そのときの状況によって、交番の順序から大きく変更されることも少なくない。

2.2 作成タイミングからの分類

運行計画を作成タイミングで分類すると、ダイヤ改正時に作成される**基本計画**、臨時列車の運転等を反映して基本計画に部分的な変更を加えて作成される日別の運行計画である**実施計画**がある。また、リソース充当計画は、実施日の何日か前までに作成する(図2参照)。

ある日の列車は、その日の実施計画に従って運転される(列車が実施計画に従って運転されるように列車の運行を管理する業務を、**運行管理**と呼ぶ)。しかし、事故の発生等によって、それによりがたい場合には、一時的に運行計画(リソース充当計画を含む)を変更する。運行管理の中のこの業務を、特に、**運転整理**と呼ぶ。

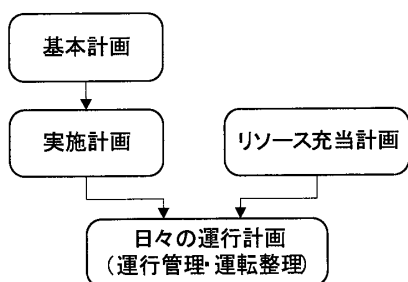


図2 作成タイミングによる運行計画の分類

3. コンピュータ支援の現状

3.1 現状とこれまでの経緯

鉄道の運行計画は、長年にわたって人手で作成されてきた。列車ダイヤ図、車両運用図表などの鉄道固有の各種のチャートを用いて、文字通り、定規と鉛筆で作成されてきた。その後の情報処理技術の発展を背景に、現在では、人間が主体的に意思決定を行い、コンピュータがそれを支援するインタラクティブシステムとして、列車計画や車両運用計画、乗務員運用計画などの基本計画・実施計画作成システムが実用的に用いられている。インタラクティブシステムですら実用化までに長い時間を要した理由としては、かつては、ヒューマンインタフェースがきわめて貧弱で、列車ダイヤ図のような複雑なチャートの使用が不可欠である運行計画作成作業の上からは実用上の問題があったこと、必要となるデータの種類や量を始めとして、業務自体がきわめて複雑で、要求仕様を整理し全社的なコンセンサスを得るまでに多大な時間と労力を要したことなどがあげられる。

運行管理については、当日の運行計画に基づいて駅の信号機や発車標、案内放送等を自動的に制御するシステム(PRC: Programmed Route Control)は、完全に実用化されているとあってよい。しかし、運転整理については、今後の列車運行を予測したり、簡易なダイヤの変更を提案したりする機能は導入されているものの、多くは人手に頼っているのが現状である。

3.2 鉄道会社のニーズ

現在、鉄道会社においては、ベテランの減少等の理由により、より高品質な運行計画をより効率よく作成することが求められており、運行計画、特に、基本計画の作成機能の高度化や運転整理支援機能の高度化に強い興味を持たれている。

(1) 列車計画

列車計画の基本計画の作成については、その複雑さと評価の難しさから、自動作成アルゴリズムよりは、まずは、各種の評価指標を算出することへの興味が高い。列車計画は、利用者が直接利用するものであり、様々な要素を考慮しなければならない。利用者の利便性が向上するように、列車の頻度・運転間隔、列車の運行系統(どの駅からどの駅まで運転するか、あるいは、複数の路線・会社をまたがる直通運転をするかなど)、列車の種別(急行・各停)、列車種別ごとの停車駅、混雑度を考慮した編成両数、番線(乗り換えに便

利なように)などを決定しなければならない。その際には、到達時間や待ち時間、他路線・他会社の路線の列車との接続、特定の列車に混雑が集中しないようにすることなどを考慮しなければならない。さらに、列車ダイヤは、多くの場合、過去との連続性が考慮されるという難しさもある。例えば、あるダイヤ改正で、それまで急行が停車していた駅に急行を停めないようにすると、地元からの大きな反発を覚悟しなければならないだろう。

このような難しさがあり、かつ、列車本数なども多い複雑な計画であること、利用者の満足度などを推測しにくいこと等のために、作成した列車ダイヤが良いダイヤであるかどうかを判定することは容易ではない。そのため、多角的な視点から列車ダイヤを評価する指標の確立とその評価値を算出する手法がまず望まれている。

後述するように、ヨーロッパでは、列車計画の自動作成に関する研究が盛んであるが、日本においては、少なくとも現時点では、このような事情から、列車計画の自動作成アルゴリズムそのものに対するニーズはあまり高くないと考えられる。

(2) その他の計画

その他の計画、特に、車両・乗務員運用計画の基本計画については、自動作成を含む高度化への期待が大きい。それは、これらの計画は、利用者には直接関係せず部内的な事情のみを考慮すればよいので比較的自動作成がしやすいと考えられていること、現在、これらの計画の作成には多大な労力を要していること等の理由による。

(3) 運転整理

運転整理についても、自動作成かどうかはともかくとしても、高度化システムへの期待は大きい。その理由は、運転整理の実施にあたっては、多大な労力を要している他、ダイヤ乱れ時には、利用者からの各種の不満が多数寄せられ、鉄道会社としても、現状の改善の必要性を強く感じているからである。運転整理については、運転整理結果に対する評価方法の確立や、利用者への案内情報の提供方法、事故の復旧時刻の予測方法など、運転整理アルゴリズムそのもの以外の事柄に対する解決策への期待も大きい。

4. 研究開発の状況

4.1 全体的状況

運行計画の自動作成アルゴリズムに関する研究は、

近年、ヨーロッパで盛んである[4]。ECでは、ARRIVAL (Algorithms for Robust and online Railway optimization: Improving the Validity and reliability of Large scale systems) というプロジェクトを立ち上げ、運行計画の自動作成・最適化アルゴリズムの研究に対する支援を行っている[5]。その背景には、ヨーロッパでは、上下分離、すなわち、公的機関が保有するインフラの上で、複数の鉄道運営会社 (TOC: Train Operating Company) が商業ベースで列車を運行するという図式が定着しており、そのような環境においては、運行計画を効率的に作成することと高品質な運行計画を作成することが重要課題として認識されるようになってきたという事情がある³。このような事情から、運行計画作成の自動化だけでなく、列車計画の頑健性、すなわち、列車の遅延がなるべく他の列車に伝搬しないような列車計画についても盛んに研究が行われている (文献[6][7]など)。

以下では、列車計画の作成を中心として研究動向を紹介する。車両・乗務員運用、運転整理に関する研究動向については、本特集号の文献[3][8]をご覧いただきたい。

4.2 戦略的計画

運行計画は、鉄道会社にとっての商品そのものであるがゆえに、その会社の経営方針を反映して作成される。中長期にわたる需要予測をもとにして、どの程度のサービスレベルを達成するのかを、投資計画を念頭において決定する。

経営方針を反映した運行計画を実現するための前提として、設備や要員に関する計画を作成する。設備計画としては、例えば、線路の建設・増設 (複々線化等)、線路の改良 (通過速度の向上など)、駅の番線の増設、車両基地・乗務員基地の新設・統廃合、車両の新製・改良、各基地での所属編成数や所属する車両の走行範囲の決定などがありうる。要員計画としては、要員 (特に乗務員) の数、乗務員の乗務範囲の決定などがありうる。

設備計画や要員計画の作成も、本来、数理計画問題として扱うことができるはずである。しかし、鉄道において、これらを数理計画問題として扱う研究は、現状では、ほとんど行われていない。その理由としては、

³ 原則的には、列車計画の作成と運行管理はインフラ会社、車両・乗務員運用計画の作成は TOC という区分になっていることが多いようである。

戦略的な判断が必要とされる難しい問題であること、実現に長い時間と莫大な額の投資が必要になることとあいまって、その効果を把握することが難しいことなど、定量化が難しい要素を多く含むことがあげられる。

しかし、最適な基地の場所の決定や基地ごとの最適な分担範囲と配置両数や配置人員の決定など、興味深く、また、効果が期待できる問題も少なくない。今後の研究が期待される分野である。

4.3 列車計画基本方針の作成

列車計画の基本方針とは、列車の運行系統、運転本数、列車種別ごとの停車駅などのことをいう。列車ダイヤの骨格といってもよい。

列車計画の基本方針の決定問題も、設備計画・要員計画と同様、戦略的な要素を含む業務である。これについても同様の理由で、現状では研究開発事例はそれほど多くない。例としては、ヨーロッパのネットワーク状の線路を対象として、利用者のデマンド⁴を入力とし、利用者全員に目的駅までの輸送サービスを提供できることを前提に、列車が通るルートとルートごとの列車の設定本数と停車駅等を決定する問題（LPP: Line Planning Problem）に対する研究がある。これに対して、Capraraらは、コストを考慮した上で、乗換なしに目的駅まで行ける利用者の数を評価値とし、それを最大とする計画を整数計画問題を解くことによって求めるというアプローチをとっている[4]。

4.4 列車計画の作成

列車計画作成問題（TTP: Train Timetabling Problem）は、利用者のデマンドと列車運行に関する物理的制約⁵を入力とし、利用者の満足度にかかわる指標を最大とする列車計画（具体的には、列車設定本数、各駅の停車通過区分と着発時刻、場合によって、各列車の編成両数）を出力する問題である。評価指標を出力するためには、利用者の行動を推定することが必要となり、そのために、通常、利用者の行動様式や嗜好について、何らかの仮定がおかれる。例えば、目的駅にもっとも早く到着する列車を選択する、出発駅にランダムに出現する等である。

TTPに対しては、多くの研究事例が報告されている。大隅らは、停車駅と列車順序を決定変数とし、乗

客の総所要時間等を評価値として、各列車の停車パターンを全数探索で求め、列車の順序をヒューリスティックに決定するアルゴリズムを提案している[9]。また、Yangらは、複数の路線が交わるネットワーク状の線路を対象として、乗換時間になるべく少なくなるような列車計画をGAを用いて求める方法を提案している[10]。ヨーロッパにおいては、TTPを混合整数計画問題（MILP）として定式化するアプローチをとる研究事例が多い。例えば、Capraraらは、ある時刻の列車の着・発事象をノードとし（時刻は、ある単位で離散化しておく）、列車の走行・停車をアークとしたmultigraphに対して、アークに付された列車のprofitを最大にするようなアークを選び出す問題をMILPとして解くアプローチを提案している[11]。MILPとする場合、現実の列車計画作成問題に応用するにあたっては、変数の数が膨大になることいかに対処するかが鍵となる。

4.5 番線使用計画の作成

日本では、駅における番線の使用方法は比較的単純である⁶。したがって、列車がどの番線を使用するかを決めることは特に難しい問題ではない。そのため、列車の使用番線の決定は、列車計画の一部とされる。しかし、ヨーロッパ等においては、大規模駅における番線やそこに出入りする線路の使用方法が複雑であることに起因して、駅における番線使用計画を、列車の時刻等を決定する問題とは別個に取り扱おうとする試みが行われている。この問題を、番線使用計画問題（TPP: Train Platforming Problem）と呼ぶ。TPPは、ある駅に対する番線以外の列車計画と駅の配線データが与えられたときに、最小停車時分や番線・進路の競合等の制約を守った上で、各列車が列車計画で定められた通りの時刻に着発できるように適切な番線を割り当てる問題（時刻の変更を許すばあいもある）となる[12]。

4.6 構内作業計画

構内作業計画（Train Unit Shunting Problem: TUSP）は、列車計画と車両運用計画が与えられたときに、番線や進路の競合などの物理的な制約を守れることを前提に、入換回数などの評価指標を最小にする入

⁴ 移動に対する需要のこと。基本的には、個々の利用者に対して、発駅、目的駅、発（または着）希望時刻の3つ組で表される。

⁵ 単線・複線の区別、番線の数等、駅間の走行時分、列車間隔（時隔）、編成の乗車可能人数など。

⁶ 例えば、東京駅には18本の番線がある。しかし、中央線の列車が使用するのは、そのうちの2本のみである。また、ヨーロッパでは、日本とは異なり、双方向に走行可能な線路（単線並列）が多いため、線路の使用方の決定も非常に複雑である。

換計画を作成することを目的とする。

構内作業計画に対しては、番線・引上線を資源、番線の占有を作業とみなすことによって、Job Shop Scheduling 問題の拡張である Resource Constrained Project Scheduling Problem と考え、それに対するメタヒューリスティクスを用いたアルゴリズムが提案されている[13]。また、車両基地の入換計画を対象として、ダイヤ乱れ時における計画の再作成にも適用するために、制約プログラミングとヒューリスティクスを組み合わせたアルゴリズムが提案されている[14]。さらに、Frelingらは、駅構内のTUSPを、番線を決定する問題、入換のルートを決める問題⁷等のいくつかのフェーズに分け、それぞれに対して、整数計画法等によるアルゴリズムを提案している[15]。

5. 鉄道のスケジューリング問題の難しさと面白さ

本節では、鉄道のスケジューリング問題の難しさと面白さを、少し肩の力を抜いて、例をあげながら解説してみたい。

5.1 組板の上にはのらない鯉

鉄道のスケジューリング問題は、問題の規模が大きい。例えば、乗務員運用計画作成の場合、対象となる列車の本数は、数百本程度になることが一般的であるし、また、乗務員は1本の列車の途中で乗換えることも考慮すると、組み合わせの数は、さらに増大する。

加えて、問題の範囲を限定することが難しいというさらにやっかいな問題も存在する。例えば、車両には、複数の形式(特急用の形式、各停用の形式など)が存在するのが普通である。車両運用計画は形式ごとに作成する。車両運用計画作成アルゴリズムの入力は、列車ダイヤである。したがって、特急の車両運用計画を作成するときには、特急の列車ダイヤが入力となり、各停の車両運用計画を作るときには、各停の列車ダイヤが入力となる。さて、この会社には、急行列車も運転されており、急行列車には、特急用の車両、各停用の車両のどちらを使ってもよいという場合には、入力の列車ダイヤは、どうすればいいのだろうか。全体の列車ダイヤを入力にすると問題のサイズが大きくなりすぎる。一方で、特急列車のダイヤと急行列車のダイヤ

や、急行列車のダイヤと各停のダイヤとして、それぞれの車両運用計画を作成するというのも、重なりやどちらでも車両が充当されない列車が発生しそうで、そのままではうまくいきそうにない。

同様に、地域ごとに分離することが難しいという問題もある。鉄道は、ネットワーク状になっていて、ある路線は、別の路線とつながっている。車両運用計画にしても、乗務員運用計画にしても、そのうちのどの部分の列車に対する運用計画を考えることにするのだろうか。ここでも、問題の範囲を限定することの難しさが発生する。

5.2 局所最適は、全体最適に優先する(こともある)

鉄道は、人が利用し、人によって動かされる。必然的に、人間の感情に配慮する必要がある。例えば、運転整理の実施時に、特に、事故復旧直後には、各停を急行に変更して(「格上げ」)、たまった利用者を一気に遠くの駅まで運ぶようにすることが全体的な観点からは効果的であることが知られている[16]。しかし、この考え方は、少なくとも現時点では、鉄道会社にとってはとても受け入れられないものとなっている。その理由は、復旧までに長時間駅で待たされている利用者の前を列車が通過していけば、それらの利用者から多大な苦情が寄せられるであろうというものである。

また、人間によって動かされるという点から、取扱い誤りの防止という視点もある。乗務員運用計画の作成においても、まれにしか遭遇しない作業(あまり使用しない番線への入換など)の頻度のバランスなどに注意をはらうこともある。

さらに、乗務員運用計画においては、宿泊地に夜遅く到着した運転士には、翌朝遅く発車する列車を担当させる、長い休憩時間よりは、早く勤務を終了して家に帰りたいという要望があるなどの事情を考慮することがある。

人に起因する理由だけではないが、かなり局所的ともいべき条件を無視できないという難しさがある。

5.3 不自然との戦い

コンピュータで作成したスケジュールをユーザに見せると、「不自然だ」というコメントが返ってくる。どういう点が不自然かと聞くと、色々な理由が返ってくる。一つ一つは納得できないわけではないものの、それらは、そのときの状況によっても変わるし、また、その状況の把握自体が難しい場合も少なくない。さらに、「なるべくなら、××したい、それ

⁷ 日本では、駅の配線がヨーロッパの駅に比べてシンプルであるため、入換ルートは、発地点と着地点とから一意に決定できることが普通である。しかし、ヨーロッパの大きな駅では、一般にはそうではない。

ができないときなら仕方がないが」とか「普通は、そういうことはやらない、でも、それしかなければやることはある」などといった要望もきわめて一般的である。これには、(2)でも述べたような、取扱誤りの防止、人間の感情の考慮、運行計画の実行時の動的な環境下で発生する事象への配慮(乱れの伝播の可能性、運転整理のしやすさなど)などが背景にある。人間は通常それらを考慮するため、そうでないものは、「不自然」と判定されるのである。

6. おわりに

5.2節と5.3節は、要は、ユーザの意向を的確に反映した評価関数を作ることが困難であるということに集約される。したがって、今後の研究の方向の一つとして、運行計画の評価手法、特に、鉄道利用者の視点からの評価手法を確立することが急務である。現在、人間が運行計画を作成する際には、言葉にはうまく言い表せない様々な知識、いわゆる暗黙知を必要とすると考えられている。しかし、最適化アルゴリズムが進展し、輸送計画の高品質化・作成の効率化に強いニーズがある今では、鉄道会社側は、複雑さや難しさをもってよしとして、それを誇るのではなく、考え方を時代にあわせて見直すことも必要であろう。かつての常識にとらわれず、「暗黙知」をすこしずつ解剖し、その必要性と真の目標を解きほぐしていく作業が望まれる。そのためには、利用者最適化手法に明るい研究者・技術者との密接な連携が必須である。

本文でも述べたように、近年、ヨーロッパにおいて、鉄道のスケジューリングに関する研究開発が活発である。しかし、鉄道は、その国の事情を反映して、その国独自の発展を遂げてきたものである。ヨーロッパの鉄道と日本の鉄道を比べると、運営方式(上下分離)、特に大都市における鉄道の利用者の量、番線や線路などの設備の使い方などにおいて、大きな相違がある。今後は、日本からも積極的に情報を発信するとともに(文献[17]~[20]に鉄道のスケジューリングを含む国際会議のURLを挙げる)、日本の事情を十分に反映したスケジューリングアルゴリズムによって、日本の鉄道がさらに高品質なものとなることを期待したい。

参考文献

- [1] 富井規雄:「列車ダイヤのひみつ」, 成山堂, 2005.
- [2] 鉄道総研運転システム研究室:「鉄道のスケジューリングアルゴリズム」, NTS 出版, 2005.
- [3] 今泉淳:「鉄道の運用計画問題に対する整数計画法によるアプローチ」, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 53, No. 8, 2008.
- [4] A. Caprara et al.: Passenger Railway Optimization, in *Transportation, Handbooks in Operations Research and Management Science*, Vol. 14, North-Holland (2006).
- [5] <http://arrival.cti.gr/index.php/Main/HomePage>
- [6] M. Carey: Ex ante heuristic measures of schedule reliability, *Transportation Research, Part B*, Vol. 33, Issue 7, 1999.
- [7] L. Kroon et al.: Stochastic Improvement of Cyclic Railway Timetables, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 42, Issue 6, 2008.
- [8] 平井力:「列車ダイヤ乱れ時の再スケジュールリングアルゴリズム」, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 53, No. 8, 2008.
- [9] 大隅英貴他: 乗客流評価に基づく需要適応型列車ダイヤ作成手法, 電学論 D, Vol. 116, No. 4, 1996.
- [10] Z. Yang, T. Koseki and S. Sone: Railway Network Timetabling for Reducing Transfer Time Using Genetic Algorithm, *T. IEE Japan*, Vol. 120-D, No. 6, 2000
- [11] A. Caprara, M. Fischetti and P. Toth: Modeling and Solving the Train Timetabling Problem, *Operations Research*, Vol. 50, No. 5, 2002.
- [12] M. Carey and S. Carville: Scheduling and Platforming Trains at Busy Complex Stations, *Transportation Research*, Vol. 37, No. 3, 2003.
- [13] 富井規雄, 周利剣, 福村直登: 確率的局所探索と PERT を組み合わせた駅構内入換計画作成アルゴリズム, 電学論, Vol. 119-C, No. 3, 1999.
- [14] 佐藤達広, 角本喜紀, 村田智洋: 条件変化に伴う再計画を考慮した車両基地構内入換スケジュールリング方式, 電学論, Vol. 127-C, No. 2, 2007.
- [15] R. Freling, R. Lentink, L. Kroon and D. Huisman: Shunting of Passenger Train Units in a Railway Station, *Transportation Science*, Vol. 39, No. 2, 2005.
- [16] 長崎祐作, 古関隆章:「都市近郊鉄道における運転整理案の作成と評価」, 電気学会交通電気鉄道研究会資料, TER-02-63, 2002.
- [17] IAROR: <http://www.iaror.org/>
- [18] ATMOS: <http://algo2008.org/doku.php/atmos>
- [19] COMPRAIL: <http://www.wessex.ac.uk/conferences/2008/comprail08/>
- [20] WCRR: <http://www.wcrr2008.org/>