

# 通勤鉄道の列車ダイヤ評価

永井 邦彦, 家田 仁

## 1. はじめに

日本の大都市に住む人々が日常不満を感じる点といえば、まず通勤鉄道の激しい混雑が挙げられよう。利用者が何とかして混雑を回避しようとしていることは、追加の料金を払えば着席が保証される「通勤ライナー」等がほぼ満席であり、始発列車がある駅で長い行列ができるなどの現象から容易に推察される。しかしこのような混雑回避が可能なのは

利用者のごく一部で、多くの利用者にとっては混雑を回避したくても実際の選択肢が限られており、依然として満員電車に乗らざるを得ないのが現状である。この悲惨といっても過言ではない状況を打開するため、鉄道事業者サイドでは長期的視点からの新線建設も実施しているが、到底充分といえるような水準ではない。その背景には、厳しい運賃規制の下で確保できる財源が限られており、また地権者の合意が困難なため工期が長期化するといった現実がある。そこで現状の設備もしくは小規模な改良で可能な当面の方策として、列車ダイヤを改善することも、研究者やいくつかの鉄道事業者の間で注目されつつある。本稿ではこの列車ダイヤの定量的評価方法の概要を紹介する。

## 2. 列車ダイヤの実際

現実には、列車ダイヤは路線設備や車両、乗務員などの厳しい制約のもとで、鉄道会社の列車ダイヤ作成専門家の個人の資質によって作成されているといっても過言ではない。したがってまず考えられるのが、数理的手法を用いた最適化である。しかしながら列車の待避条件をはじめとする非常に複雑な制約条件をすべて記述することは困難である。また非線形の整数計画問題となるため解法も近似解とならざるを得ず、今までのところ必ずし

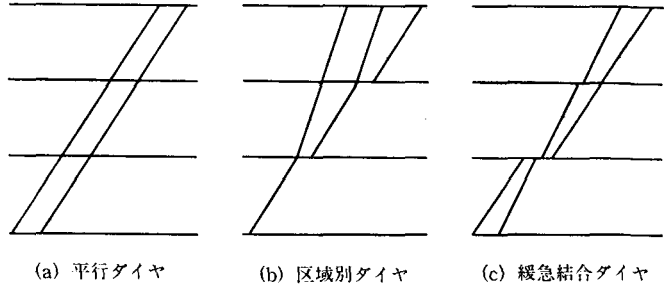


図 1 各種列車ダイヤ

も十分な成果は得られていない。そこで次に列車ダイヤの作成そのものは専門家にゆだね、彼らの作成したいくつかの代替案を定量的に評価するという方法が考えられる。以下では後者の方法を前提として説明する。

列車ダイヤには図 1 に示すように種々の形式がある。それぞれの形式には特徴があり、たとえば並行ダイヤは運転本数は最も多くできるといわれており混雑率を低下させるには有効であるものの、速達性の点で劣るため遠距離から通勤する利用者にとっては必ずしも最も便利というわけではない。一方、区域別ダイヤは速達性の点では優れているものの、個々の駅に注目してみると列車本数が少なく、駅での待ち時間が長いという欠点がある。その他、いくつかの駅で他線区と接続するような線区では、主要駅間の利用者数が卓越しているため、利用者の少ない駅では不便であっても緩急結合ダイヤなどが適切なこともある。実際には各駅区の需要パターンに応じて適切なダイヤを決めていく必要があるが、列車ダイヤには表 1 に示すようないくつかの評価項目が考えられる。したがって列車ダイヤの客観的な評価を行なうためには多様な評価項目を一元的に処理することが必要となる。以上の問題の解決には、利用者が混雑などをどう評価しているか、いいかえれば、どのくらい嫌がっているかを実際の行動から調べてみる必要がある。それには以下に述べる「利用者均衡配分法」が役に立つのである。

## 3. 利用者均衡配分法

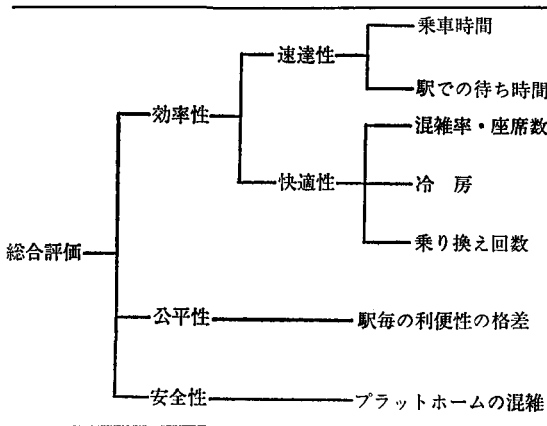
利用者均衡配分の原理的な説明および計算アルゴリズム

ながい くにひこ, いえだ ひとし

東京大学 工学部 土木工学科 交通研究室

〒113 文京区本郷 7-3-1

表 1 列車ダイヤの評価項目例



ムについては、道路需要予測などの文献で詳細に述べられているので、ここでは直感的な説明にとどめたい。

ある自動車がA地点からB地点に行こうとしている。2地点間には2つの道路があり、幅員その他の道路条件は同じだが道のりは異なるものとしよう。ドライブそのものが目的の運転者は故意に遠回りをするかもしれないが、ここではそれを考えないものとする。運転者が付近の道路の状況をよく知っているとすると、道路が混雑していないならば近道を選ぶだろう。

ところが自動車の台数が多い場合、全車が近道を通るとすると混雑して所要時間がのびる。そうすると遠回りした方が早いということも起こり得る。したがってすべての利用者に十分な情報があるとすると、少しでも所要時間の短い方が選択されて、2つの経路の所要時間が等しくなるように自動車が分れるだろう。この状態ではどの利用者も、自分が経路を変更しても自分の所要時間を減らすことができない。これを利用者均衡状態という。

道路の需要予測では等時間配分といわれることが多い。ここで重要なことは、利用者は道のりの短い道路を選ぶというよりも、距離に混雑の影響が加味された所要時間の短い道路を選択していると考えの方が妥当であるという点である。この考え方はより複雑な実際の道路ネットワークにも適用可能である。

実際の混雑現象は道のりや幅員、沿道条件により変化するのは当然としても、同じ交通量でもボトルネックの位置により渋滞が起きたり起きなかったりするのです。さほど簡単ではないが、計算アルゴリズムを簡単にするには交通量と所要時間の間には一定の関係がある

と仮定することが適切である。この交通量と所要時間の関係を表わす関数を「リンクパフォーマンス関数」といい、分数関数、べき乗関数、指数関数などが考えられている。

#### 4. 列車ダイヤネットワーク

さて、通勤鉄道の場合について考えてみよう。道路地図の東西/南北方向を、路線の方向と時間とに置き換えると、道路ネットワークの代わりに図2のような「列車ダイヤネットワーク」が作成できる。この図の各線分はリンクと呼ばれる。道路では自動車が増えると混雑して所要時間が増えるが、鉄道でも混雑すると利用者の不快感が増して、余分に時間がかかるのと同じような心理的効果をもたらす。この効果を定量化したものが通勤鉄道におけるリンクパフォーマンス関数となる。

朝ラッシュ時間帯の通勤・通学者は毎日ほとんど同じ行動を繰り返していると考えられるので、道路の状況をよく知っている運転者と同様の行動をとると考えられる。また近道を行く自動車と近道の混雑を避けて遠回りする自動車は、たとえば急行列車利用者と急行の混雑を避けて各停に乗る利用者に相当すると考えることができる。道路利用者が距離に混雑を加味した所要時間を評価したのと同様に、通勤鉄道利用者は実際の所要時間に混雑に対する心理的な嫌悪による影響が加わった不効用を評価するものとする。現段階では個人差は考えないことにする。

道路の場合、混雑の影響は所要時間の変化として実際の現象を観測することにより比較的容易に得られるが、鉄道利用者にとっての混雑の影響は心理的な損失であり、リンクパフォーマンス関数そのものを観測すること

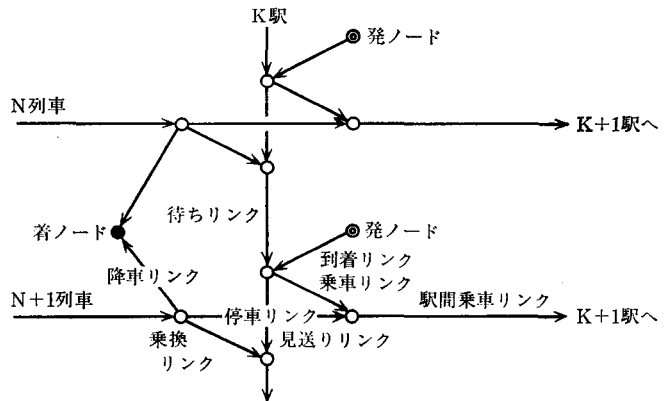


図 2 列車ダイヤネットワーク

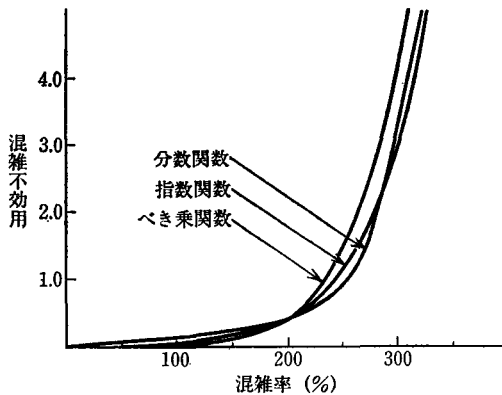
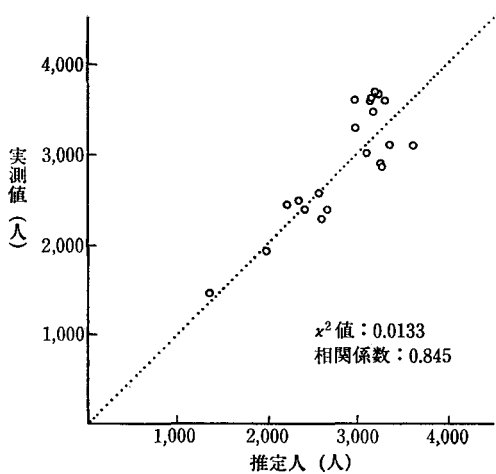


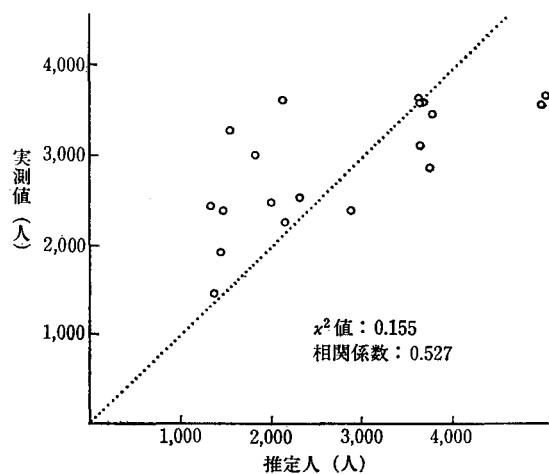
図3 推定されたリンクパフォーマンス関数

は難しい。そこで、いくつかの部分の交通量を観測し、その利用者均衡配分による推定値と観測値とが最も適合するように、リンクパフォーマンス関数のパラメータを決める。同様に、乗換えや待ち時間に対する不快感も定量化することができる。西武池袋線の朝ピーク1時間都心方向について、推定を行なった結果が図3である。定員は1人当たり床面積0.35㎡として算出したものである。3つの関数型の仮定により若干異なった形を示しているが、各列車の乗車人員推定にさほど大きな差はない。利用者が最短時間の列車に乗ると仮定した場合と比較した図4を見ると実際の列車選択行動に対する説明力が大きく向上していることが示される。

その他の計算条件について詳しく述べておく。利用者が駅に到着する時刻は、朝のピーク1時間では利用者数の時間変動はさほど大きくないこと、列車本数が多い線



(a) 利用者均衡配分



(b) 所要時間のみを考えた場合

図4 列車別乗車人員の推定

区を対象にしているため列車の出発時刻をねらって駅にくる必要は小さいことから、時間内に一樣に到着するものとした。着席についても細かい検討を行なっているが、計算が非常に複雑になること、最も混雑の激しい朝の通勤ラッシュでは着席者は2割以下であることを考慮すると、計算を簡易化するために座席数を明示化しなくても必要な精度が得られると考えている。ただし始発列車が非常に多い駅の周辺など、特別な場合は検討が必要である。また座席料金などは今回、考慮していない。運賃はどの列車についても同じなので、影響は考慮する必要がない。冷房についても、主要路線では100%冷房化されているので、影響を考慮しなかった。

## 5. 列車ダイヤの評価手順

以上の方法をもとに、列車ダイヤの評価手順を説明する。

### 5.1 入力データ

運行計画の評価に必要なデータは、基本的には列車ダイヤデータおよび駅間OD交通量データの2つである。

#### (1)列車ダイヤデータ

列車運行計画そのものを表現したものである。全列車について各駅での到着出発時刻を記入しており、時刻表のイメージのデータとなっている。評価したい時間帯の列車のみを入力すればよく、その範囲において列車ダイヤをネットワーク化し、評価を行なう。

#### (2)駅間OD交通量データ

これは、対象路線の輸送需要として乗降駅間の交通量を記入しているもので、発駅と着駅の行列からなるOD表

データである。実際に評価する時間帯に合わせてデータを用意する必要がある。

### 5.2 計算

利用者均衡配分の計算によるネットワーク上での利用者の流れをもとに列車ダイヤの評価を行なう。各リンクの利用者数とリンクパフォーマンス関数からリンク毎の不効用の値が求められる。この不効用とフローを乗じて集計することにより、全利用者の被る不効用が算出される。

この計算には特殊なハードウェアは必要でない。本研究室では扱うデータの量や配分計算量を考慮して、メインメモリ 8MB 演算速度 17MIPS のワークステーションを採用している。プログラムは C 言語で記述され、全部で 2 万行に及んでいる。

収束精度や不効用関数のパラメータなど計算に必要なパラメータは事前に求めた値を用いる。指定されたパラメータに従って配分計算が開始され、評価に要する時間は、配分計算の収束精度にもよるが駅数 40、列車数 30 程度の路線で約 10 分、使用するメモリは約 1MB である。

### 5.3 出力

列車ダイヤを体全として評価するためには、各利用者の不効用の総和を見ればよい。また、不効用の内訳（乗車時間、待ち時間、混雑、乗り換え）から列車ダイヤの特徴を定量的に把握することができる。さらに、不効用の各利用者間でのばらつき、あるいは地域的な偏在性を見ることにより、列車ダイヤの公平性を判断することができる。

また得られたリンクフローから、各列車ごとの区間別乗車人員や各駅での乗換えの様子などが明らかになり、混雑の激しい列車がチェックできるなど、列車ダイヤの

詳細な分析が可能である。

以上のように本手法は乗車時間、待ち時間、混雑、乗換えの不便等を加味したダイヤ評価に加え、駅ごとの利用者間の公平性、プラットフォーム混雑、乗降者数から必要な停車時間を検討することなど、多様な目的に利用可能である。

## 6. ま と め

本手法は当研究室でこの数年間にわたり実施した、列車運行計画の評価方法や最適化手法の開発、列車ダイヤのパターン分類、評価特性の分析など、運行計画に関するさまざまな研究の成果である。現在は、本手法の鉄道利用経路の選択や通勤時刻選択行動への発展も研究している。

実際に列車運行計画の策定を行なう際には、まず多数の運行計画代替案を作成し、その中から定量的評価を通してよりよい運行計画を選定することになる。従来専門家の勘と経験によって行なわれていた運行計画作成のプロセスに、ここで提案した手法が普及し、鉄道混雑が改善されることを願ってやまない。

### 参 考 文 献

- [1] 家田 仁ほか、利用者均衡配分法による通勤列車運行計画の利用者便益評価、土木計画学・論文集 No. 6, pp.177-184, 1988
- [2] 家田 仁、通勤列車ダイヤを評価する、鉄道ピクトリアル No. 503, pp.58-65, 1988
- [3] Sheffi, Y., Urban Transportation Network, Prentice-Hall, 1985

## 会 合 記 録

6月4日(金)	研究小委員会	4名	6月14日(月)	OR基本課題検討委員会	14名
6月8日(火)	企業サロン企画委員会	8名	6月21日(月)	機関誌編集委員会	4名
6月9日(水)	APORS'94組織委員会	9名	6月22日(火)	企業サロン企画委員会	6名
6月12日(土)	機関誌編集委員会	14名	6月23日(水)	表彰委員会	6名
			6月28日(月)	OR基本課題検討委員会	8名