

通勤電車運行パターンの設定方法に関する研究*

A Study on a Method to Decide Commuter Train Schedule

塚本 直幸** 天野 光三*** 大島 秀樹****

By Naoyuki TSUKAMOTO, Kozoh AMANO, Hideki OHSHIMA

1. はじめに

大都市部の鉄道における通勤・通学混雑緩和や輸送サービス改善のために、各鉄道会社は、新線建設や既存路線の複々線化、あるいは駅舎整備等の施設整備を継続的に進める一方で、定期的なダイヤ改正を実施して電車運行計画の見直し・改善を図っている。

特急・急行・普通等の電車種別や各電車種別毎の停車駅・運行区間等の電車運行パターンの構成要素の見直しは、過去の実績に立脚して既存ダイヤの手直しと言う形態で行われることが多い。これは、現実の通勤ダイヤは、限られた運行設備・列車台数・人員体制等のもとでかなり過密かつ精緻な運用を行っており、これらをすべて考慮して白紙の状態から新たなダイヤ作成を行うには膨大な作業を必要とするからである。また、電車種別や停車駅の設定は、各鉄道線の歴史的経緯もあって、輸送効率のみの観点で定められているわけでもない。

しかし一方で、沿線人口の増大に伴う通勤客の増加や各駅の乗降客数の伸びの違い等の通勤需要パターンの変化に伴い、施設整備といったハード面からの対策が即効性を持たない現実がある以上、ソフト面からの対応として、電車運行パターンを根本的・多面的に見直す必要も生じていると言える。

本研究では上記の観点に立って、旅客輸送の本来的な評価指標と思われる所要時間を評価関数として、それを最小にするような電車の運行パターンの設定方法について考察する。すなわち、駅間旅客数、駅間距離および電車種別走行速度を所与のものとして、

総所要時間が最小となるような電車種別・電車種別停車駅の設定方法について提案する。

2. 問題の定式化

総所要時間を最小とする電車種別・停車駅の決定問題は、例えば次のような多次の混合整数計画問題として定式化できる。

$$T = \sum_{i,j,\ell,\ell'} q_{ij} t_{ij} x_i^{\ell} x_j^{\ell'} \rightarrow \text{Min}$$

ここに

i : 乗車駅

j : 降車駅

ℓ, ℓ' : 電車種別 $\ell, \ell' = 1, 2, \dots, L$

$$x_i^{\ell} = \begin{cases} 1 : \text{電車種別 } \ell \text{ が } i \text{ に停車する時} \\ 0 : \text{電車種別 } \ell \text{ が } i \text{ に停車しない時} \end{cases}$$

T : 総所要時間

q_{ij} : 駅間乗客数 (given)

t_{ij} : 駅間所要時間

ただし $t_{ij} = \text{Min}(t_{ij}^r) = f[\{x_k^{\ell}\}]$

r は i, j 間の可能な経路

f は i, j 間での各種別電車の停車の仕方により最短所要時間を決める関数

$k = i, i+1, \dots, j-1, j$

$x_i^{\ell} x_j^{\ell'} = 0$ for all ℓ and ℓ' ならば $t_{ij}^r = \infty$

上の問題において「総所要時間最小」ということから、乗客はすべて最短所要時間の電車に乗車することを仮定したことになる。実際には混雑度との関連で、空いている緩行電車に乗車する、と言う選択もありうるが今回のモデルでは考慮していない。

電車種別数 L も決定しなければならない変数であるが、 $L=1$ すなわち電車種別が1種類の場合は、 t_{ij} の条件よりすべて普通電車でダイヤが構成される並行ダイヤと言うのが自明な解である。また電車種別数に制限がないとすると、非現実的な解ではあるが、

* キーワーズ：公共交通需要、鉄道計画

** 正会員、工博、大阪産業大学工学部土木工学科
(大阪府大東市中垣内3-1-1、TEL 0720-75-3001、
FAX 0720-75-5044)

*** 正会員、工博、大阪産業大学工学部土木工学科

**** 正会員、大阪産業大学工学部土木工学科

すべての駅間相互にノンストップ電車を運行させると言うのが自明な解である。

電車種別数をいくらにするかは、線路容量や利用客にとってのわかり易さ等から決定しなければならないが、いずれにせよ解はこの両極端の自明な解の間にある。

3. Step by step による解法

(1) 仮定

定式化した問題は一種の組合せ最適化問題であり、特に目的関数パラメータの t_{ij} が解空間(x_i)での関数となっている(すなわち、2駅間の最短所要時間はその駅間駅のどこに停車するかによる)ため、このまま解くことは困難である。そこで、以下の仮定を設けて問題を簡略化する。

- ① 電車にランク(特急、急行、準急、普通等)を設定し、下位ランクの電車は必ず上位ランク電車の停車駅に停車する。
- ② 途中駅での乗換は行わない。

仮定②はやや非現実的であるが、これを置くことで乗換時間の算出が避けられる。つまり、ある電車種別から他の電車種別への乗換待ち合わせ時間は、電車種別停車駅が決定した後、運行ダイヤを組んで定められるものであるが、これを内生化して問題が複雑化することを避けるためである。

なお将来的には【1】での成果も取り込んで乗換をモデル内に組み込む予定である。また、電車種別停車駅を求めた後、適宜乗換率を仮定して事後的に感度分析を行うことも可能である。

(2) 解法

仮定①②より、電車種別のうち1種類は必ず普通電車になることがわかる。このことから計算の初期状態として、まず普通電車のみからなる並行ダイヤを設定する。ついで、ノンストップ電車を運行させることにより時間短縮効果が得られる停車駅の組み合わせをStep by stepで見出し、そこに上位電車を運行させることで総所要時間最小となる電車種別およびその停車駅を決定することができる。これは最適値の下界を得て、その後の解探索の制御を行う方法である²⁾。

説明を簡単にするために、電車種別が2の場合

(例えば普通と急行)の停車駅決定フローを図-1に示す。

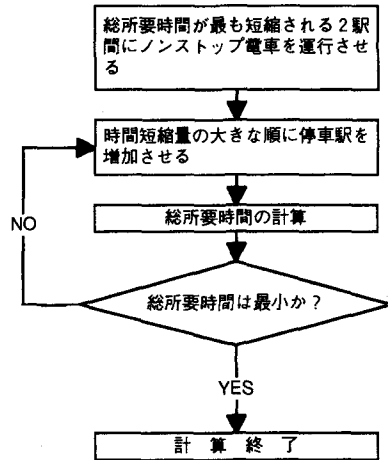


図-1 最適停車駅決定フロー(2電車種別の場合)

手順は次の通りである。

① ある2駅間に急行電車を運行させると、普通電車に比較して駅間所要時間が短縮し、駅間旅客数を重みとして時間短縮効果が現れる。

② 急行電車を運行することにより最も大きな時間短縮効果を持つ2つの駅ペアを初期状態として、順次効果の大きな駅ペアを探索しつつ、総所要時間を計算する。つまり、順次停車駅を増加させて行くと、それに伴う総所要時間の変化は次の2つの部分により構成される。

(電車が停車することにより時間短縮となる駅ペアの効果増分) - (停車駅の増加により所要時間増となる駅ペアの効果減少分)

上式の第1項が第2項より大きい間は、急行停車の時間短縮効果がある。

③ 停車駅を増加させて行くと、全ての駅ペアを割り振る前にどこかで総所要時間が最小になる所があるので(註)、そこで停車駅の探索を打ち切る。

(註) 上述した手順において、全て普通電車で構成されるダイヤに比較すれば、隣接しない2駅間に急行電車を運行させると必ず総所要時間が短縮する。また順次急行停車駅を増加させていくと、最終的には全ての駅に停車、すなわち普通電車と同じものとなる。以上の2点より、総所要時間が最小となる急行停車駅の組み合わせが存在することが保証される。

総所要時間が最小となる普通と急行の停車駅の組み合わせが存在する、と言うことは、逆に言えば、さ

らに総所要時間を減少させるためには、別の停車の仕方を持つ電車種別の設定が必要と言うことでもある。

電車種別が2種類の場合について説明したが、実際には電車種別を3種類以上とし、総所要時間最小と言う観点より電車種別最適停車駅が導出できる。手順を図-2に示す。

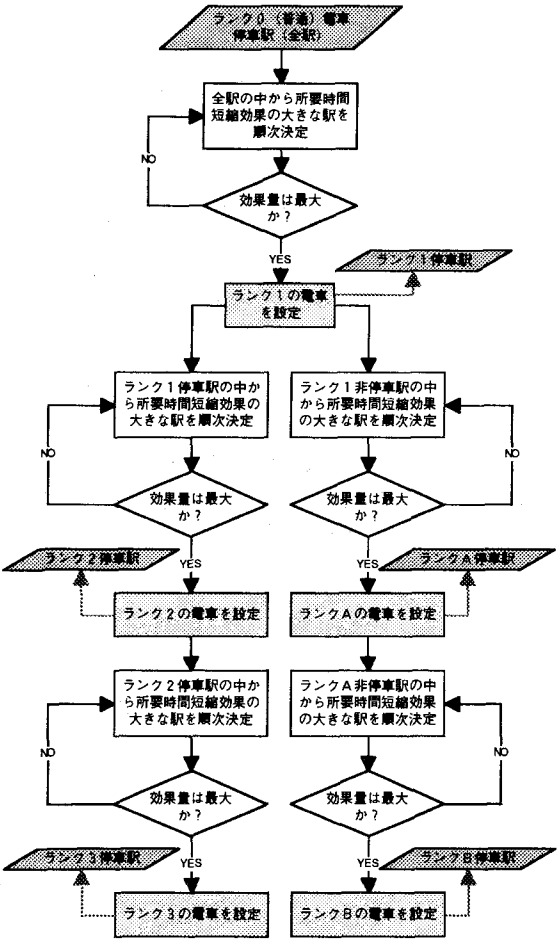


図-2 ランク別電車・停車駅決定フロー

仮定①に従って、図-2に示した手順でランク0 (普通電車) の停車駅の中からランク1電車の停車駅が決定され、上位ランクに向かって順次ランク2電車停車駅、ランク3電車停車駅が探索される。また、ランク1電車の非停車駅の中から下位ランクに向かって順次ランクA電車停車駅、ランクB停車駅が探索される (図-3参照)。

いくつのランクまで算出するかについては、適用

対象電車線毎に考慮することになる。

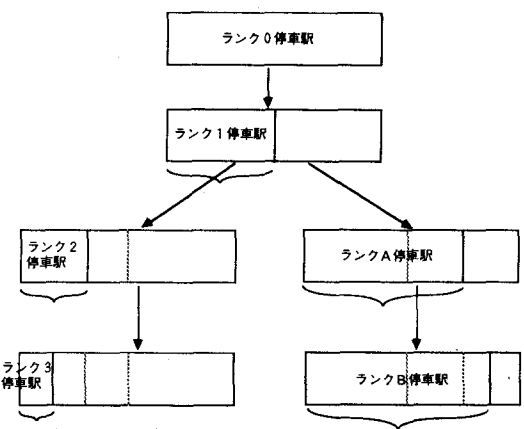


図-3 電車ランク別停車駅の関係

4. ケーススタディ

(1) 対象路線・使用データ

本手法の妥当性を検証するために、京都出町柳・大阪淀屋橋間約52kmを結ぶ京阪電車本線を対象としてケーススタディを実施した。

京阪本線には42駅あり、特急・急行・準急・区間急行・普通の5種別の電車が運行している。

駅間旅客数としては、平成4年11月に実施された旅客流動調査結果を用いた。特に大阪淀屋橋方面の朝の通勤需要動向に対応した電車運行パターンを決定するために、通勤需要がピークを示す08:00-08:30のデータを用いた。この時間帯の乗客の大半は、大阪側4駅 (淀屋橋・北浜・天満橋・京橋) で降車する。

また、駅間距離、電車種別走行速度、駅停車時間は現行の時刻表から求めた。

(2) 適用結果と現況の比較

現行ダイヤでの電車種別停車駅と、図-2の手順で求めた電車種別停車駅の結果を表-1に示す。

算出された各ランクの電車と現在運行されている電車種別を比較してみると、次のことが言える。

- ① ランク1の電車停車駅は、出町柳-樟葉間ではほぼ現行の急行、樟葉-淀屋橋間ではほぼ現行の準急の停車駅に等しい。
- ② ランク2の電車停車駅は、現行の急行停車駅に比して、京都・大阪間の中間に位置し、乗降客数順位もかなり上位を占める寝屋川市駅に停車しないのが大きな特徴である。これは寝屋川市駅よりも京都側

の駅からの大量の通勤需要が、寝屋川市駅停車により所要時間増になるためである。

その他、出町柳・淀屋橋に近い七条・北浜、および乗降客数の比較的小さい伏見稲荷・八幡市に停車しないのが現行の急行と異なっている。

③ ランク3の電車は現行の電車種別では相当するものがない。通勤特急として今後考慮する必要がある。いずれにせよ、現行の特急に相当するものは、通勤時間帯における総所要時間最小の観点からは導出されない。

④ ランクAの電車は、樟葉－淀屋橋間では現行の区間急行に似た停車駅となる。

⑤ ランクBの電車は、現行に相当するものはない。

5. 結論と今後の課題

総所要時間最小と言う目的関数のもとで、膨大な組み合わせの中から最適な電車種別と停車駅を見出

す問題について、本手法を用いて妥当な解が得られた。特に現行ダイヤの問題点を浮かび上がらせ、適切な運行計画立案の方向が見出せる、と言う意味で実用的であると評価できる。ただし、実際のダイヤ作成にあたっては混雑度や線路容量、回避線状況等を考慮するのは当然である。

今後乗換率の内生化と電車選択・電車乗換に関する乗客の行動要因の分析に基づいたモデル化が必要である。

なお、本研究にあたり京阪電鉄より資料・データ等の提供を得たことを記して謝意を表します。

参考文献

1) 大久保・小野・大島・天野：「最適列車ダイヤの探索システムに関する研究」、土木学会第49回年次学術講演会概要集第4部、pp606-607、1994
2) 今野・鈴木：「数理計画法と組合せ最適化」、日科技連、pp.18-23、1982

表－1 ケーススタディによる運行パターンの比較

駅名	現行運行パターン					算出した運行パターン					
	特急	急行	準急	区間急行	普通	ランク0	ランク1	ランク2	ランク3	ランクA	ランクB
淀屋橋	○					●	●	●	●	●	●
北浜	○	○	○	○	○	●	●			●	●
天満橋	○		○			●	●	●		●	●
京橋	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●
野江					○	●					
関目					○	●					●
森小路					○	●					●
千林					○	●					
滝井					○	●					
土居					○	●					
守口市				○		●				●	●
西三荘				○	○	●					●
門真市				○	○	●					
古川橋				○	○	●				●	●
大和田				○	○	●				●	●
萱島			○	○	○	●	●			●	●
寝屋川市		○	○	○	○	●	●			●	●
香里園		○	○	○	○	●	●	●		●	●
光善寺			○	○	○	●				●	●
枚方公園			○	○	○	●				●	●
枚方市		○	○	○	○	●	●	●	●	●	●
御殿山			○	○	○	●	●			●	●
牧野			○	○	○	●	●			●	●
樟葉		○	○	○	○	●	●	●		●	●
橋本			○	○	○	●				●	●
八幡市		○	○	○	○	●	●			●	●
淀			○			●				●	●
中書島	○	○			○	●	●	●	●	●	●
伏見桃山					○	●		●		●	●
丹波橋		○				●	●	●		●	●
墨染					○	●				●	●
藤森					○	●	●			●	●
深草					○	●				●	●
伏見稲荷		○			○	●	●			●	●
黒羽街道					○	●					
東福寺					○	●					●
七条	○	○			○	●	●			●	●
五条		○			○	●				●	●
四条	○	○			○	●	●	●		●	●
三条	○	○			○	●	●	●		●	●
丸太町		○			○	●				●	●
出町柳	○	○			○	●	●	●	●	●	●