

投稿論文(和文報告)

**TECHNICAL
REPORT**

列車運行計画評価システムによる 通勤線区列車ダイヤ改善の事例研究

城石典明¹・梶岡俊彦²・家田 仁³・島村祐司⁴・永井邦彦⁵

¹正会員 MS 東急電鉄(株)工務部土木課係長 (〒150 東京都渋谷区南平台 2-17)

²学生会員 東京大学大学院 修士課程

³正会員 工博 東京大学工学部土木工学科助教授

⁴正会員 東急電鉄(株)第1工事事務所係長

⁵学生会員 修工 東京大学大学院 博士課程

著者らは合理的な列車ダイヤの選定方法として、①列車ダイヤの客観的評価方法の確立②望ましい列車ダイヤの概要を把握③実線区における列車ダイヤの客観的評価というステップワイズな手法を開発してきた。今回その第三段階として、東急田園都市・新玉川線を対象に実際にダイヤ案を様々な角度から比較評価し望ましいダイヤを選定した。

Key Words : train scheduling, commuter railway, relieving congestion

1. はじめに

大都市通勤鉄道の混雑は、現在大きな社会問題となっている。しかし抜本的解決の為の大規模な施設改良は、工事費のみならず用地取得費も含めて多大な設備投資額が必要であり、さらに相当の工期を要することや用地取得の難しさも加わって、時間的にも長期にならざるを得ないのが実情となっている。したがって、長期的な輸送改善策以外に、比較的短期に効果が期待できる対応策についても、積極的に取り組んでいく必要がある。現在運輸省を中心に検討されているフレックスタイム制促進はその一例と言える。

確実に効果があげられる対策としては列車ダイヤの改善がある。列車ダイヤについては、様々な意見が出されているが、それらの大半は客観的評価に基づいておらず、実際に鉄道事業者や地域住民の理解を得るほどの説得力を持っていない。そこで著者らは、①列車ダイヤの客観的評価方法の確立^{1)~3)}②望ましい列車ダイヤの概要の把握^{4)~9)}③実線区における列車ダイヤ評価、という3ステップからなる列車ダイヤ改善手法について研究を進めてきた。①②段階については既に論文として発表しているので、本報告では段階③についての実例適用例を報告する。

2. 対象線区の概要

今回は、東急田園都市線・新玉川線を対象線区とする。

この線区は、西は中央林間で小田急江ノ島線と接続し、東は商業・交通の拠点である渋谷をターミナルとし、さらに営団半蔵門線と相互直通運転が行われ都心部まで乗換なしでアクセスできるため、非常に利便性が高い路線となっている。沿線には、東京急行電鉄による多摩田園都市(総開発面積5千ha, 定着人口45万人)をはじめ、住宅都市整備公団による港北ニュータウン(総開発面積2千5百ha, 計画人口30万人)など大規模な居住都市が開発中であるため(図-1)、利用者数は年々増加の一途をたどり(図-2)、朝ラッシュにおける混雑度はかなりひどい状態である。

これらの増大する輸送需要に対して、鉄道事業者からは、列車編成長の長大化、列車本数の増加等の努力が重ねられてきた。また、スピードアップについては、分岐器の変更を主とした駅施設の改良により列車到達時分の短縮を図るべく順次工事が行われようとしており、混雑した列車への乗車時間を減らす効果も期待される¹⁰⁾。さらに、抜本的な輸送力増強策として、現在の大井町線(二子玉川園~大井町間)を二子玉川園より鷺沼付近まで延伸し、この区間を並走させることで、実質的な田園都市線の複々線化を行うとともに、併せて大井町線の活性化を図る計画がある。本報告では、複々線化は未完成とし、列車間隔が現在の2分15秒間隔から2分間隔に改善された時を想定して評価を行った。

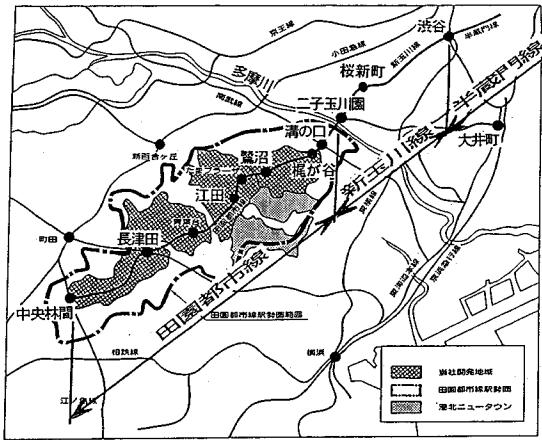


図-1 対象路線図

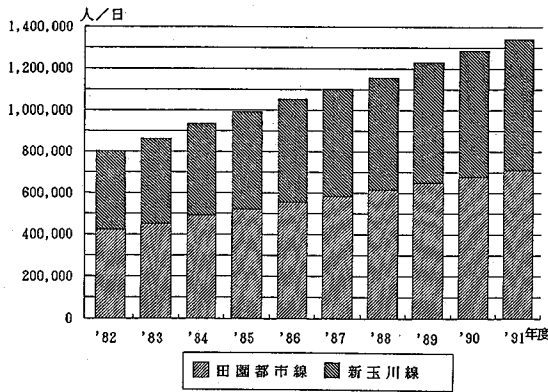


図-2 利用者数の推移 (一日平均)

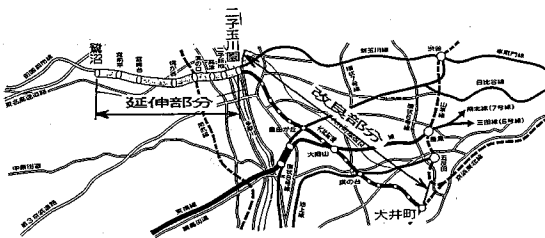


図-3 大井町線改良・延伸計画

3. 利用者行動の仮定

(1) 利用者均衡配分

利用者は、情報が完全であっても常に一番速い列車を選択するわけではない。特に大都市通勤鉄道のラッシュ時の利用者行動は、それだけではうまく説明がつかない。そこで、筆者らは利用者均衡配分 (UE) を用いた、混雑の影響を考慮にいたれた列車選択行動を研究してきた。こ

れは、混雑に伴う損失という概念を導入し、利用者は所要時間・混雑損失などを含めた不効用を最小化するように列車を選択すると仮定するものである。この仮定によると、混雑する急行を避けてわざわざ空いている各停に乗る、というような実際の利用者の行動をよく表現できる^{1)~6)}。

本報告ではこれらの研究に基づいた仮定として、利用者は全て同じ価値基準で行動するとし、各自、自分の不効用が最小となるように乗車する列車を選択するものとする。利用者の被る不効用としては

- ・乗車時間
- ・混雑により被る損失
- ・待ち時間 (乗車待ち・乗換待ち)
- ・乗換に関する損失

の4つの要素を考慮する。混雑により被る損失に関しては、西武池袋線における推定値にもとづく分数関数により、時間タームに変換する^{1),3)}。

(混雑不効用)

$$= (\text{乗車時間}) \times \frac{0.26 \times (\text{乗車人数})}{3.15 \times (\text{乗車定員}) - (\text{乗車人数})}$$

なお、同じデータより、待ち時間と乗換時間については実時間の1.6倍相当とし、それに加え乗換1回につき実際の待ち時間とは別に乗車時間4.5秒相当の損失があるものとする。

(2) 利用者の行動パターン

大都市における鉄道の日常的な利用者は、自分で利用時刻を設定できる利用者 (予定行動旅客) と、それが難しい利用者 (ランダム到着旅客) とに大別される¹¹⁾。前者は徒歩、二輪車、自動車により駅までアクセスする利用者であり、乗車する列車を自分で決める事が出来る。後者はバス、鉄道他線によりアクセスする利用者であり、アクセス交通機関のダイヤによる制約を受け、乗り継ぎ駅で待ち時間にロスが生じる。後者の全体に対する比率を「ランダム率」とよび、 γ で表すことにする。

(3) 列車運行計画評価システム

以上の方法をより簡単に適用するために、列車運行計画評価システム IEDIS (Integrated Evaluation System for train Diagram-Scheduling) が開発されている⁹⁾。

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と駅間OD交通量データである。列車ダイヤデータは評価の対象とする全列車についての各駅での秒単位の到着出発時刻である。駅間OD交通量データは、実際に評価する時間帯のデータを用意する必要がある。これらのデータを入力した後、さらに計算に必要なパラメータを入力する。このパラメータは収束精度、不効用に関するパラメータ、および利用者の行動パターンに関

するものである。

このようにして指定されたパラメータに従って配分計算を行う。評価に要する時間は今回の東急田園都市・新玉川線の評価で1つのケースにつき15分程度である。計算が終了すると、運行計画全体の効率性を評価するものとして、不効用の総和とその内訳が表示される。なお、出力データがパソコンで利用できるよう、テキストファイルに落とす機能を備えている。今回はこれを加工して列車別断面混雑率・駅内流動を計算した。

4. 評価に関するデータ

評価を行うにあたり、ベースとなる基本的なデータは大都市交通センサス（以下単にセンサスと呼ぶ）があるが、これはサンプル調査であるため、OD表としては信頼性が低い。そこで、輸送の実状を勘案して、以下のような仮定と条件をおいた。

(1) 乗降駅間 OD 表

田園都市・新玉川線は、利用者の多数が都市側ターミナルの渋谷駅に集中する典型的な大都市の通勤路線である。本研究では、91年度定期券発券データをもとに、95年を想定して池尻大橋一渋谷断面交通量を8万人/ピーク1時間と仮定して修正を加えた。定期券データでは朝利用する方向が不明であるが、渋谷方向へのピーク1時間帯の通勤・通学者数と発売定期数との比率は乗降駅によらず一定であるとした。また、将来的な利用者の増加も一定率とした。実際には、逆方向への通勤・通学者も存在し、未開発の地域ほど利用者数の伸び率が大きいと予想されるが、主たる利用形態自体の変化は小さいこと、将来予測を含めた修正は誤差を拡大してしまうことから、修正は行わなかった。

(2) 利用者のアクセス手段

次に、定期券データより作成したOD表とセンサスから抽出するデータの整合性を確認する。まずセンサスからは鉄道他線からの乗換利用者を含まないアクセス交通機関別の乗降人員（定期券利用者のみ）を抽出する。鉄道他線からの乗換のある中央林間、長津田、溝の口、二子玉川園の4駅（三軒茶屋での世田谷線からの乗換は「バス等」に含まれる）を除いた23駅について85年センサスのアクセス交通機関別乗降人員を各駅別に集計したものと、91年度定期券発行データから作成したOD表とを比較すると（図-4）、相関係数は0.98と非常に高く、相互に整合性があると考えられる。ここでピーク1時間の渋谷断面交通量仮定乗車客は、センサスの1日鉄道アクセス人員の50.7%である。この数字を基に他線連絡4駅について鉄道他線からの利用者数が推定される。

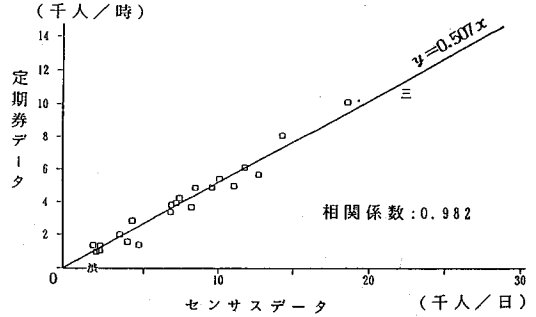


図-4 センサスによるアクセスデータと実際の乗車人員(定期券データ)

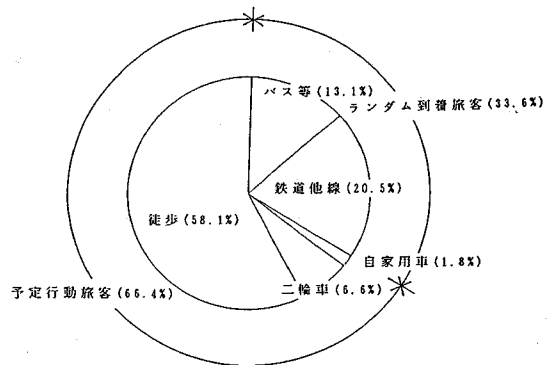


図-5 田園都市・新玉川線アクセス状況

表-1 ダイヤデータ

	C 0 案	C 1 案	C 2 案
列車容量 (万人・km)	1133	1133	1133
総走行距離 (列車・km)	8093	8093	8093
総走行時間 (列車・時)	23.6	23.6	23.8
総停車回数 (回)	425	457	485

以上をまとめると、田園都市・新玉川線全体の利用者のアクセス交通機関別構成比は図-5に示すようになる。全体の33.6%がランダム到着旅客である。すなわち $\gamma=33.6\%$ である。

γ は、列車運行が不安定になると実質的に増加する。一方、鉄道他線やバスとの接続が向上すると実質的に減少する。そのため、実際の値に近い $\gamma=40\%$ の他に感度分析の検討をするため、 $\gamma=10\%$ 、 70% の3ケースについて計算を行うことにする。

(3) 検討するダイヤ案

事前分析の結果、長津田一渋谷間でピーク1時間に30列車運転、緩急比率1:1が良いことが分かっているの、それに基づいた以下の3つのダイヤ案を作成した。

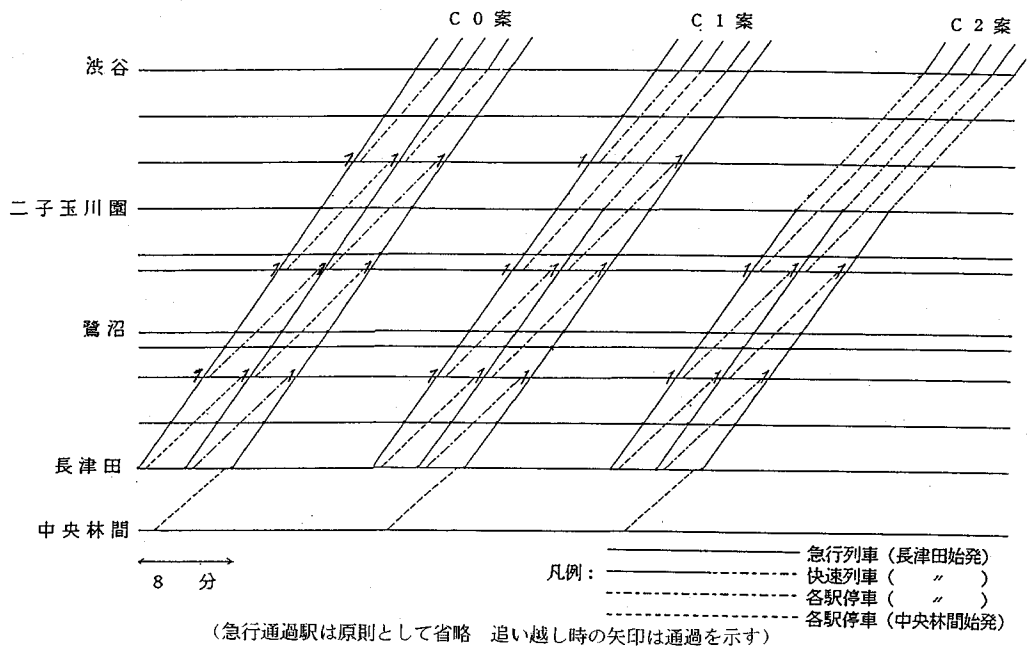


図-6 ダイヤ概念図

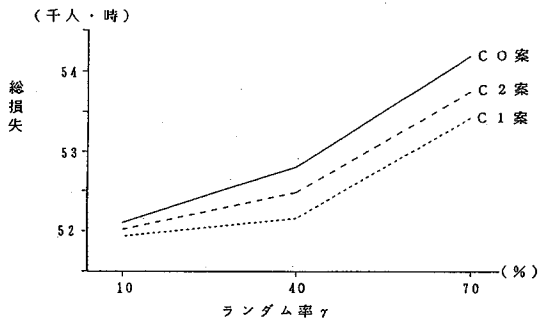


図-7 ダイヤ別総損失

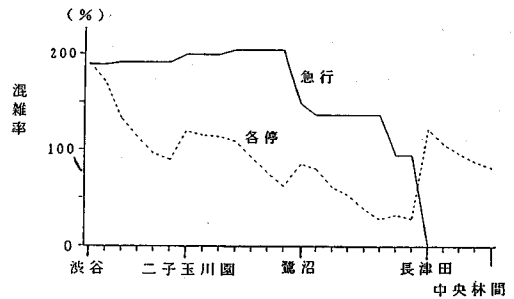


図-9 列車種別別断面混雑率 (C0案)

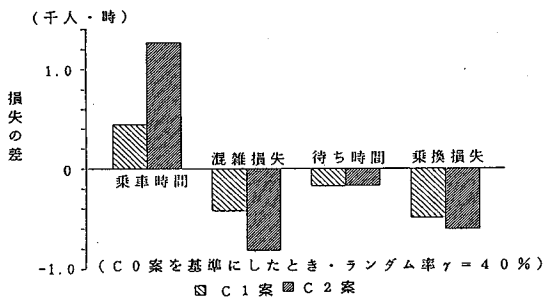


図-8 各ダイヤ案の比較

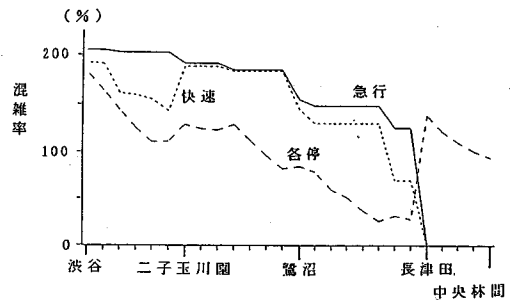


図-10 列車種別別断面混雑率 (C1案)

列車種別の構成比が各案異なっている。急行・快速の停車駅は現在と同じとした。(括弧内は1パターンあたりの列車本数)

C0案 (急行:快速:各停=2:0:2)

C1案 (急行:快速:各停=1:1:2)

C2案 (急行:快速:各停=0:2:2)

表一に各ダイヤ案の諸データを示す。総走行時間、停車回数ともC0案からC1案、C2案の順に増えていく。急行の追い越しによって各停の待避時間も同じ程度増加するため、停車回数の差異に比して総走行時間の差異は非常に小さい。

図一六に各ダイヤの概念図を示す。

5. 評価の結果

(1) 全体評価

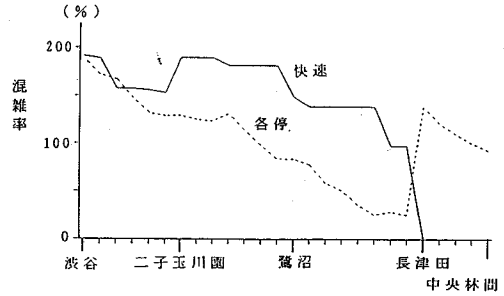
各ダイヤ案を環境変数である γ を変化させて評価した結果が図一七である。 γ によらず総不効用はC1案<C2案<C0案である。また γ が小さいほど総不効用は小さく、各案の差も小さい。従って、C1案が全体として最も良い案であると言える。この原因を、 $\gamma=40\%$ の場合について各案の差異をC0案を基準に要素別に示した図一八から分析する。

乗車時間はC0案<C1案<C2案であり混雑損失は逆にC2案<C1案<C0案である。待ち時間と乗換抵抗についてもC1案、C2案が有利である。すなわち、所要時間と混雑損失その他とがトレードオフの関係にあるが、それらの総和は下に凸になっており、中間のC1案の総不効用が最も小さくなる。

γ が小さくなるほど総不効用が小さくなるのは主に待ち時間の減少によるものであることは当然だが、同時に利用者が列車を選択する自由度が増すことによって急行利用者が増えて所要時間も減少する。さらに、混雑率が均一で不効用が低いダイヤ案ほど γ の変化が大きく影響するので、各案の利便性が均一化しているものと考えられる。

(2) 列車別断面混雑率

$\gamma=40\%$ のケースについて、各ダイヤ案の列車別の各駅間混雑率を図9~11に示す。いずれも安全に問題を生じるような混雑は生じていない。C0案は鷺沼で各停から急行への乗換が多く、鷺沼-溝の口間の急行が最混雑となっており、渋谷に近くなるほど混雑率がむしろ低下する。断面交通量は全体では二子玉川園で一度減少するが、混雑率の低い各停の乗車人員だけが専ら減少している。中央林間始発の各停は長津田で乗換により乗車人員が大きく減少している。C1案、C2案は優等列車の混雑率が概ね渋谷に近くなるほど高くなっている。両案とも快速は



図一11 列車種別別断面混雑率 (C2案)

二子玉川園で乗車人員が減少する。C1案では各駅停車の混雑率は二子玉川園までは他案に比して概ね高いが、渋谷断面ではむしろ空いている。しかし急行の混雑率を見ると3案中もっとも高くなっている。C1案では快速列車が二子玉川園から各駅に停車するため、残った急行列車に負担が集中するためと考えられる。

(3) 駅内流動

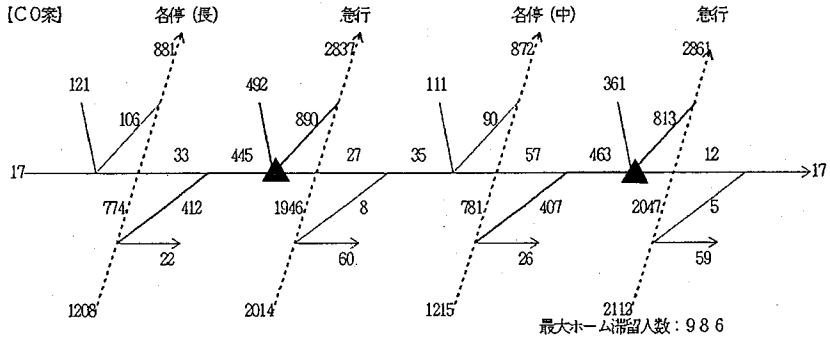
次に、個別の駅での旅客流動に問題がないか調べてみる。図一12は $\gamma=40\%$ の場合の鷺沼・溝の口における駅内流動をピックアップしたものである。横が時間軸を、斜め点線が各列車を表す。例えば鷺沼C0案長津田発各駅停車に着目すると、ホームに12人滞留、121人が改札からホームへ、1208人乗車の列車が停車、774人はそのまま乗車、22人が改札を出、412人はホームで滞留、106人が乗車して列車は881人を乗せて発車、33人は列車を見送りホームに計445人が滞留といった具合である。ただしパターン長8分の整数倍が1時間にならない関係で、フローが整合していないノードがあることに留意されたい。(図中▲のノード)

乗車人数、降車人数、滞留人数の合計が瞬間的にホームに滞留する最大の人数であると考えられるので、各ダイヤの最大ホーム滞留人数を求めることができる(表一2)。

以上の作業をホームでの混雑が危惧される二子玉川園・溝の口・鷺沼・長津田の4駅について行い、各駅の最大ホーム滞留人数と上りホームの有効面積を対照したものが図一13である。ただし二子玉川園駅については、大井町線も含めた利用者数を用い、ホームも改良工事後を想定している。

鷺沼においてC0案が他案に比べ混雑しているのは、各停から急行へ乗り換える利用者が多いからで、断面交通量から得た結論と一致している。これは、C0案の急行列車の速達性が他案に比べ高いため(実際には各停の速度が遅い)と考えられる。溝の口の駅内流動図によると、急行から各停へ混雑を回避して乗り換える利用者が多

長津田における旅客流動図



溝の口における旅客流動図

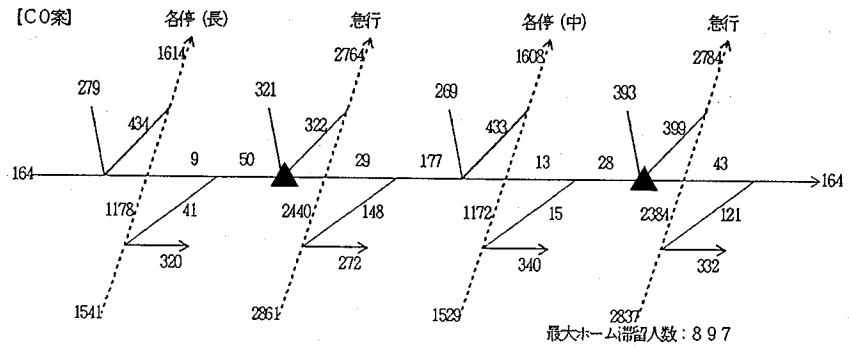


図-12 駅での旅客流動(例)

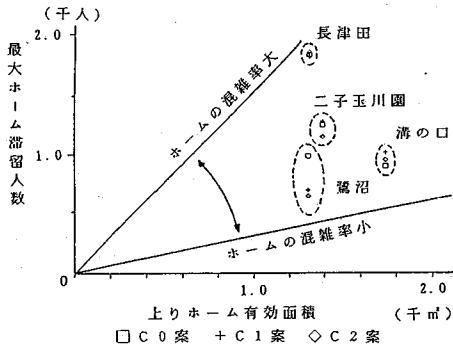


図-13 ホームの混雑

表-2 最大ホーム滞留人数

	C0案	C1案	C2案
二子玉川園	1116	1146	1012
溝の口	897	1018	953
鷺沼	986	689	635
長津田	1839	1824	1862

い。これはC1案で最も大きくなっており混雑の平準化に寄与していると思われる。

C0案では乗換をする利用者が多いという実態が以上からも明らかとなった。

(4) 乗車駅別にみた効用

全体での評価がよいダイヤ案であっても、ある駅に着目して利用者の不効用を考えた場合に他の駅に比べて著しく不利益を被るようなダイヤ案は、これもまた不適切であるといわざるを得ない。図-14は渋谷からの各駅の距離と、その駅からの乗車客の平均不効用をプロットしたものである。長津田以遠については距離に比べ不効用が小さく、用賀-渋谷間からの乗車は不効用が大きい、ほぼ線形の関係にあり、全体的な公平性としては良好であるといえる。

各案の差異はさほど大きくない。が、あえて差異に注目し、図-15にC0案を基準とした各案の乗車駅別不効用を示した。C0案に比べC1案は二子玉川園と長津田以遠を除いて全般的に良好である。C2案は、C1案とほぼ同様であるが、急行停車駅の効用が低いほか渋谷断面の各停の混雑率が高いことを反映して、駒沢大学と桜新町についても効用が低くなっている。

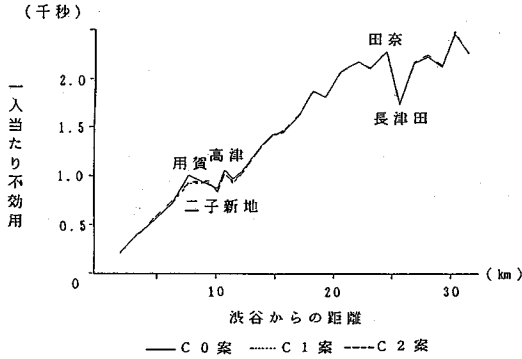


図-14 駅別乗車客一人当たり不効用

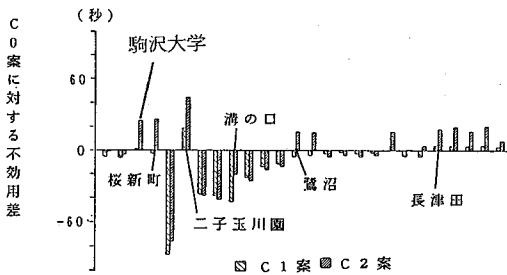


図-15 駅別乗車客一人当たり不効用 (ダイヤ別比較)

(5) まとめ

最後に、以上の評価結果をまとめる(表-3)。

まず全体的な評価に関してのべる。乗車時間はC0案が最も短く、次いでC1案、C2案の順であるが、混雑不効用、乗換損失、乗車待ち時間の各項目については逆の順になっており、総不効用でみるとC1案が最も良い。また公平性についてはいずれも大きな問題はないが、あえて言えばC1案が少し悪い。

次に、局所的な評価を見る。プラットホームの混雑については、最も乗換の多い長津田では大差がなく、C2案が若干良い。C1案では鷺沼、C1案では溝の口の乗換が多いが、問題を生ずるほどではない。二子玉川園もプラットホーム拡張後は問題ないといえる。列車ダイヤの運行時刻の安定性に関する列車別の乗車人員の均一性については、渋谷断面でC1案が若干悪い。C1案は二子玉川園断面と溝の口断面で急行の混雑率が非常に高く、各停との差が大きい。以上の点から、総合的にはC1案が評価が一番高い。

5. 結論

以上の考察により、本路線におけるダイヤ改善のガイ

表-3 評価項目総括表

評価項目	C0案	C1案	C2案
乗車時間	○	○	△
混雑不効用	△	○	○
乗換損失	△	○	○
乗車待ち時間	△	○	○
総不効用	△	○	○
公平性	○	○	○

プラットフォームの混雑	二子玉川園	溝の口	鷺沼	長津田
二子玉川園	○	○	○	○
溝の口	○	○	○	○
鷺沼	△	○	○	○
長津田	△	△	△	△

列車別乗車人員の均一性	渋谷断面	二子玉川園断面	溝の口断面
渋谷断面	○	○	○
二子玉川園断面	△	○	○
溝の口断面	△	○	○

ラインが浮かびあがる。このような列車ダイヤ案の定量的分析を実務レベルに持ち込むことで、よりよいダイヤ改正が可能となる。今後、各線区の列車ダイヤ改善に際し、本手法が普及することが望まれる。

ただし、ここで選定されたダイヤは、利用者便益の観点から評価を行っているため、鉄道事業者の費用変化(将来的には運賃に反映される)は今回考慮していない。さらに、車両や乗務員の運用上の問題等から、最適とされるダイヤが修正を余儀なくされることもある点についてお断りしておきたい。

本報告では、①客観的な評価基準によりまた少ない労力で列車ダイヤの評価が可能であること、②列車ダイヤの改善という追加投資額の少ない手段によっても利用者の利便性が向上される余地があること、③以上を勘案すると列車運行計画作成にあたってより積極的な取り組みが期待されること、の3点が結論づけられる。

6. 謝辞

本報告の作成にあたっては、東京急行電鉄の電気部村本道明区長、鉄道部酒井信良駅長には、実務的な立場からの御意見を頂戴し、工務部の八方隆邦次長、門忠男課長、太田雅文氏、福田誠一氏にも重要な御示唆をいただいた。さらに研究に先立ち、梅崎昌彦、下大蘭浩、小根山裕之、加藤浩徳、堀内雅則、牧野博明、川崎祐征、冨田順子、中西正紀(以上当時東大学生)の各氏には事前分析に協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 家田仁, 赤松隆, 高木, 島中: 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, 土木計画学研究・論文集, No. 6, pp.177-184, 1988年11月.
- 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年.
- 3) 志田州弘, 古川敦, 赤松隆, 家田仁: 通勤鉄道利用者の

- 不効用関数パラメータの移転性に関する研究, 土木計画学研究・講演集 No. 12, pp.519-526, 1989年12月.
- 4) 家田仁: 通勤列車ダイヤの改善とその評価, 運転協会誌, pp.446-451, 1991年10月.
- 5) 家田仁, 志田州弘, 永井邦彦, 下大菌浩: 列車運行計画評価システム“IEDIS”の開発, JREA 1991年10月号, pp.16-19.
- 6) 永井邦彦, 家田仁: 通勤鉄道の列車ダイヤ評価, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 38, No. 8, pp.389-392, 1993年8月.
- 7) 古川, 高木, 家田仁: 列車ダイヤパターンと利用者便益との関連性に関する分析, 土木計画学研究・論文集, No. 7, pp.131-138, 1989年12月.
- 8) 家田仁, 志田州弘, 永井邦彦: モデルケース分析による通勤列車運行計画の便益特性の分析とその実用評価法, 土木計画学研究・論文集, No. 8, pp.217-224, 1990年11月.
- 9) 永井邦彦, 家田仁, 下大菌浩, 志田州弘: 需要特性に適合した通勤列車運行パターンの選択法, 土木計画学研究・論文集, No. 9, pp.149-156, 1991年11月.
- 10) 城石典明・八方隆邦, 久慈正幸: 田園都市線・新玉川線におけるスピードアップの方策と効果に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No. 15, pp.555-560, 1992年11月.
- 11) 永井邦彦, 家田仁: 利用者便益からみた都市間鉄道の停車パターン改善法, 土木計画学研究・講演集, No. 13, pp.501-508, 1990年11月.

(1993.10.12 受付)

A CASE STUDY OF THE IMPROVEMENT OF TRAIN SCHEDULING BY USING COMPUTER SYSTEM

Fumiaki SHIROISHI, Toshihiko KAJIOKA, Hitoshi IEDA,
Yûji SHIMAMURA and Kunihiko NAGAI

The authors have proposed a method for the evaluation of train scheduling plans by making use of computer. This report is an application of the method to railway lines in reality. The authors selected the Den'en-toshi and Shin-tamagawa lines of Tokyu Corporation. The demand on the lines is forecast to increase. Additional two tracks are planned, but will not be constructed until 2003 AD.. A lot of attention is directed to the improvement of train scheduling as an effective measure for relieving congestion before the completion of the large investment on the infrastructure. In this report, three diagram plans are evaluated from various viewpoints such as total users' benefit, equality, and platform congestion for safety.