

通勤電車運行スケジュールにおける遅延計算モデルの構築

02402150 中央大学 *中村 幸史 NAKAMURA Yukihiro
01303730 中央大学 田口 東 TAGUCHI Azuma

1 はじめに

東京首都圏における鉄道網は、都市の基盤となる交通機関であり、通勤、通学の足という重要な役割を担っている。それゆえに、朝夕の通勤、通学時間帯には多くの利用者が殺到し、その混雑は非常に厳しい状況にある。

通常、電車が混雑すればするほど利用者の乗降にかかる時間が長くなり、電車の運行に遅延が生じる。一度発生した遅延は、後続電車に波及して増大していくという特徴がある[3]。

本稿では、電車の運行スケジュールをネットワークで表現し、遅延をネットワーク構造の変化として扱うことによって、電車の遅延を解析するシミュレーションモデルを構築する。このモデルを東急田園都市線に適用して、遅延が鉄道輸送に及ぼす影響を分析し、通勤電車運行スケジュールを評価する。また、普通（各駅停車）と急行の役割に注目してスケジュール代替案を提案し、既存のスケジュールと比較する。

2 ネットワークモデル

2.1 鉄道ネットワーク

鉄道ネットワークとして、128路線1815駅で構成される東京首都圏鉄道網を考える。図1に、対象とした路線図を示す。



図1 東京首都圏鉄道網

2.2 時間-空間ネットワーク

時間依存のネットワークフロー問題を考えるために、通常の鉄道ネットワークを図2に示すような時間-空間ネットワークに拡張する[1]。ここで、ノードは各電車の各駅における停車を意味し、実線のリンクは駅間の電車の運行、破線のリンクはホーム上での次の電車の待ち合わせ、あるいは他の路線への乗り換えを表す。

今回構築したネットワークは、大体6時前後に出発した電車から、11時前に終点駅に到着する電車を対象としており、総ノード数150270、総リンク数474213である。

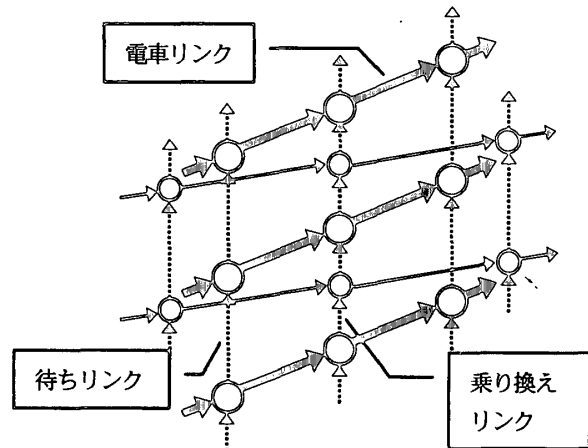


図2 乗り換えネットワーク

3 利用データ

3.1 大都市交通センサスデータ

大都市交通センサスは、5年毎に行われている公共交通機関（バス、鉄道）の利用実態調査である。このデータには、各利用者の移動に関する実際の経路や時間が詳細に記載されている。出発駅と到着駅をOD交通需要として利用する。本報告では、2000年データの定期券利用者調査を使用した。

3.2 時刻表データ

図2のような時間-空間ネットワークを構築するために、電車の時刻表から各電車の各駅における出発時刻を抽出し、各ノードの時刻座標として利用する。

3.3 駅間標準所要時間

鉄道では、多少の遅延が発生してもスケジュール通りに運行できるように、予め調整時間を設けている。この調整時間を推定するために、鉄道会社によって発表されている駅間の標準所要時間を利用する。時刻表から得られる各駅間の出発時刻の差を駅間の所要時間とし、そこから標準所要時間を減じた時間を到着駅における調整時間と仮定する。

4 遅延計算モデル

4.1 利用電車割り当てアルゴリズム

センサスデータから得たOD交通需要を、時間-空間ネットワークに割り当てる。各利用者について、出発駅から到着駅への最短経路を求め、その経路に交通需要を付加する。ただし、各利用者毎に利用電車種別および利用路線、出発時刻をセンサスデータ通りとした上で最短経路を求める。

4.2 停車時間関数

駅のホームにおいて、電車が到着してから利用者の乗降が完全に終了するまでの時間を、停車時間と呼ぶ。こ

の時間は、電車の内部にいる人数と、電車に乗降する人数に依存すると考えられる。

停車時間 D として、大戸ら[2]によって求められた式

$$D = -0.0031x^2 + 0.7908x + 0.003y \quad (1)$$

x : 最も混雑しているドアにおける乗降人数

y : 車内人数

を用いる。

4.3 遅延計算アルゴリズム

混雑によって引き起こされた遅延は、後続電車の運行に影響を与え、また、先々の駅で待っている人数が溜まるために、時間とともに拡大していく。一方、遅延が短ければ駅における調整時間によって吸収され、計画通りの運行に近づく。以下の手順で、電車の運行を再現する。

- Step1 利用電車割り当てアルゴリズムを用いて、各利用者を時間-空間ネットワークに割り当てる。
- Step2 各駅における各電車に対して、車内人数 y と乗降人数 x をそれぞれ数える。
- Step3 停車時間関数 (1) に x , y を代入することによって、停車時間 D を計算する。
- Step4 遅延時間 $D' = \max(D - 20, 0)$ とする。つまり、 $D' > 0$ のときに遅延が発生したことになる。
- Step5 各駅における各電車に対して、電車の経路に沿って D' を蓄積し、出発時刻に付加していく。
- Step6 各駅において、連続して到着する電車の間隔が 120 秒未満だった場合、後から到着した電車の出発時刻を遅らせ、間隔を 120 秒にする。
- Step7 各電車において、連続した駅間の所要時間が標準所要時間より短くなった場合、駅間を標準所要時間で移動するように、次駅の到着時刻を遅らせる。
- Step8 Step 6 あるいは Step 7 において、各駅における各電車の出発時刻のいずれかが変更された場合、Step 6 に戻る。
- Step9 Step 6 あるいは Step 7 において、スケジュールの変更が一度も発生しなかった場合、この操作を終了する。そうでなければ、Step 1 へ戻る。

5 東急田園都市線への適用

東急田園都市線は、都心部における主要な乗り換え駅である渋谷駅と、東急多摩田園都市と呼ばれる郊外の大規模住宅地とを結んでいる、典型的な通勤型路線である。

5.1 シミュレーション結果

電車が時刻表どおりに運行した場合と、構築したモデルを適用して遅延が生ずる可能性を考慮した場合の、乗車人数、所要時間等を比較した。

各電車の始発駅から終着駅までの所要時間の変化を図3に示す。丸が普通を表し、四角が急行を表す。遅延を考慮した場合の方が所要時間が長くなり、最大で5分遅くなっている。この路線において、日常的に5分程度の遅延が発生していることが知られていることから、このモデルは的外れではないと言える。

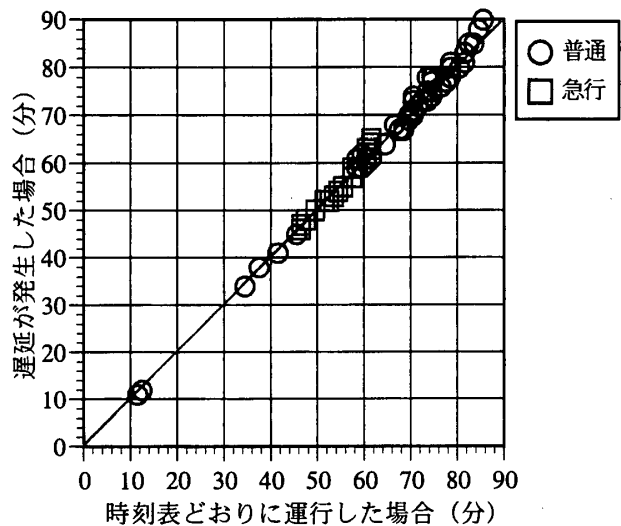


図3 各電車の所要時間

5.2 運行スケジュール代替案

既存の運行スケジュールでは、普通に比べて急行の利用者が非常に多い。この偏りが遅延を引き起こすと考えられるため、全電車を普通に変更してシミュレーションを行った。各電車の始発駅、始発時刻は既存のスケジュールに従い、駅間を標準所要時間で移動するものとした。

所要時間の変化を図4に示す。一部の電車を除き、既存のスケジュールよりも所要時間が短くなっている。この結果より、各電車の利用人数の偏りがなくなると、輸送力が向上すると言える。

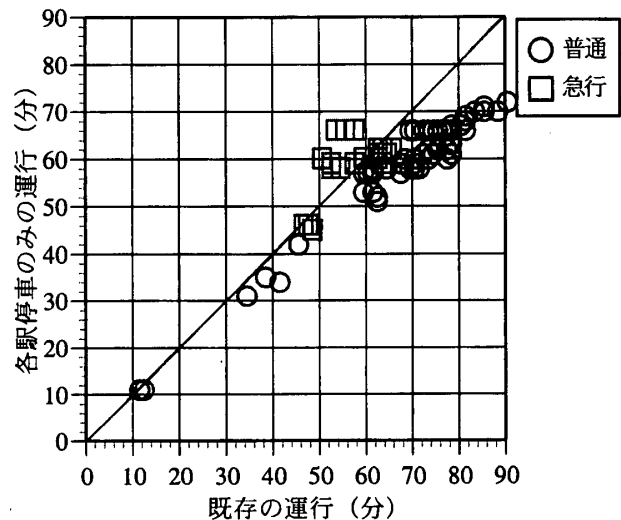


図4 各電車の所要時間

参考文献

- [1] 田口東, “首都圏電車ネットワーク上の時間変化する乗客分布の計算,” 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 30-31, 2003.
- [2] 大戸弘道他, “鉄道駅における旅客流動に関する研究 その8 乗降速度に関する実験,” 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp. 845-846, 1999.
- [3] 高橋幸雄, 森村英典, 混雑と待ち, 朝倉書店, 2001.