

エージェントモデルによる東京圏都市鉄道の 超高頻度運行の可能性 その3

芝浦工業大学 工学部 土木工学科 教授 岩倉 成志
前芝浦工業大学大学院 建設工学専攻 吉枝 春樹

1. 研究目的

本研究室では、都市鉄道の既存ストックを最大限に活用し、輸送力増強の投資額を激減させ、列車遅延を抑制して運行間隔 90 秒達成を目標とする超高頻度運行の可能性に挑戦してきた。列車編成ごと、乗降客個々の挙動を再現する極めて精度の高いエージェントモデルに、高頻度化にともなう利用需要の変動を予測する需要モデルを開発して統合する成果を昨年度の貴財団研究助成で得ることができた。移動閉そくシステムをベースとし、精緻な速度制御を行うことで列車群としての最適な制御を実現できる信号保安システムの導入を念頭に、運転理論とエージェントシミュレーションの2種のアプローチでその可能性を証明した。そして、超高頻度運行によって各駅で一編成当たりの乗降客が減少すれば、駅での停車時間が縮減して高頻度化と混雑率低下を達成できる解の存在をコンピュータ上で証明できた。

今年度は、昨年度までの成果をもとに鉄道事業者と議論を重ね、実務的実現を目指すにあたってのシミュレーションの問題および課題を解明し、その課題群を可能な限り改善して、3か年の最終成果としたい。

2. 調査研究の内容と方法

昨年度の成果で、運転理論上もシミュレーション上でも 90 秒間隔運転の可能性が高いことを示せた。最終年度の今年度は、1) 東芝 TRUE LINE ダイヤ作成ソフトウェアを用いた超高頻度運行ダイヤのさらなる改善を行い、シミュレーションから出力される運行間隔の頑健性を確認する。2) 鉄道事業者にとっては、遅延発生時に高密度化したダイヤの回復遅れが特に問題視されるため、遅延回復が早まる現在の結果の妥当性を実務的側面から確認してもらい、さらにサゼッションを継続的にもらいながらシミュレーション結果の信頼性を向上させたい（計算結果が実務的にも妥当であると確認される水準にしたい）。このため、東急電鉄運転車両部計画課の関聡史氏、計画課の岩本敏彦氏、車両基地設計に詳しい高石大輔氏と議論を重ねる。

※注 本研究室では既に、列車間の相互作用、ホーム上の乗降客挙動の相互作用を数理モデル化し、列車一編成一編成の運行挙動を極めて精度良く再現するマルチエージェントシミュレーションを完成させており、これを応用改良して本研究を進める。イメージは、実際の全列車の走行と乗降客の挙動を、コンピュータ上に数少ないルールで再現させたものである。

3. 技術的実用性が高いと考えられる運行方法

共同研究者と議論を重ね、以下のような実用、大きな無理がないケースの検討をおこなった。

(1) ケース設定

昨年までの分析では、90 秒間隔での運転が可能なケースは渋谷駅の 2 面 3 線化を行うとともに、保安装置の通信時間を 0 秒または 1.5 秒としたケースに限られた。そこで、運転間隔を 95 秒および 100 秒として、以下の 3 ケースを設定した。

ケース 1 は、運転間隔を追加ケースの中では短い 95 秒とした一方、渋谷駅は 2 面 3 線と最初の分析で短い運転間隔が可能だったケースと同様とし、保安装置は余裕距離 25m、通信遅延は現実的な最短ケースとして 1.5 秒とした。

ケース 2 は、運転間隔を 100 秒と広めにしつつ渋谷駅も 2 面 3 線として余裕を持たせた一方、保安装置の条件を緩め、余裕距離を 80m と伸ばして通信遅延も 5 秒を与えた。

ケース 3 は 2 番のケースと対をなすもので、渋谷駅を 1 面 2 線として条件を厳しくした一方、保安装置の条件を緩め、余裕距離 25m、通信遅延を 1.5 秒としたものである。

(2) 分析結果

a) ケースごとの分析結果

運転間隔の分布を図-1 に示す。この分布図は各駅の発車時の間隔を集計しており、集計対象は、ダイヤ上の運転間隔が 95 秒および 100 秒である列車に限っている。各ケースともダイヤから大きく乖離することなく運転ができているが、ケース 1 以外は半蔵門駅で若干の運転間隔の伸びが生じている。ケース 3 では、保安装置の条件を緩めているため、渋谷駅を 1 面 2 線としているものの、運転間隔の分布は間隔が広がる方向にやや裾の長い形状となっており、運転間隔に余裕がない状態と考えられる。なお、4 章の (3)b で述べたように、本シミュレーションは、乗客の列車種別選択行動を再現するモデルのうち乗換回数のパラメーターが乗換 1 回あたり乗車時間 27 分相当と、既存研究に比べて乗換抵抗が大きく、乗換を抑制している。そのため、既存研究と同等の乗車時間 10 分相当のパラメーターとして乗換を発生しやすい状況にした推計も行ったが、運転間隔の拡大は認められなかった。

b) 高頻度化による混雑緩和効果

現況の 130 秒間隔ダイヤと乗降人数を入力して推定した現況再現ケースと運転間隔 95 秒としたケース 1 の渋谷駅到着時点の車内人数推定をおこなった。現況再現ケースと比較して、高頻度化によって、ラッシュ時間帯の極端な混雑を緩和することができている。ピーク時も平均して 150% 以下の混雑率を実現することができおり、高頻度運転は、本研究の目的を果たすといえる。

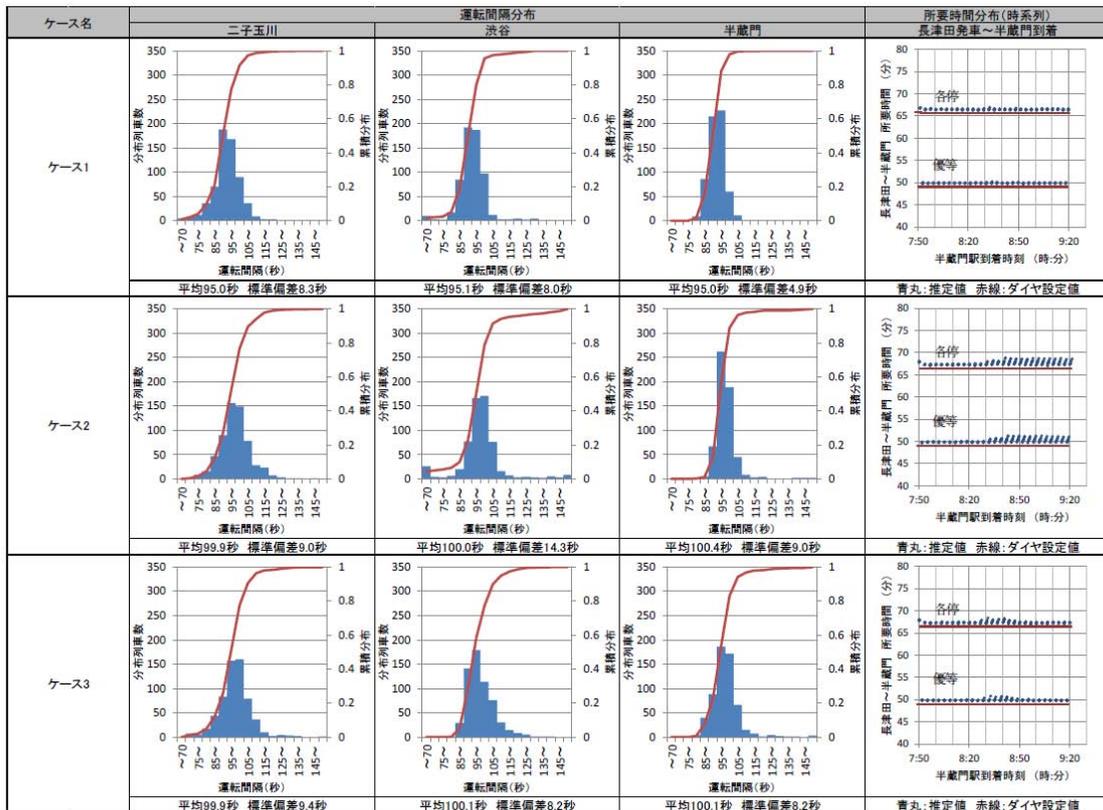


図1 技術的実用性が高いと考えられるケースの運行間隔および所要時間

c) 遅延発生時の影響

遅延が発生した場合を想定して、ケース1について、現況ダイヤにおいて最高頻度である130秒間隔運転が開始される7時48分ごろに渋谷駅に到着する列車を5分間停止させる分析を行った。なお、実際の運転整理を想定して、最初の列車が停止している間は、他の列車もすべて最寄り駅で抑止するものとした。

渋谷駅と表参道駅における遅延と運転間隔の推移を計算した。渋谷駅では何れのケースでも運転再開後にしばらく遅延が拡大したあと収束する結果となったが、2面3線化を行った95秒間隔ケースのほうが遅延の増加が小さい。

表参道駅についても同様の傾向であるが、95秒ケースでは運転再開後すぐに遅延が一度収束に向かった。これは、渋谷駅に2列車が停車した状態となっており、さらに表参道駅の手前で停止していた列車もあったことから、それらの列車が続けて表参道駅に到着したためと考えられる。また、表参道駅の遅延が再び増加する時間帯には、特定の列車が遅れて運転間隔が開く現象が見られた。これは、運転再開のあと最初に二子玉川駅に到着した普通列車に旅客が集中し、停車時間が延びたためである。移動閉そくを導入した場合でも、運転再開直後には旅客の集中による遅れが生じる列車もあることから、列車の間隔を均一化する運転整理を行うことが望ましいといえる。

全体としては、95 秒ケースでは高頻度運転を行ったにもかかわらず現況ケースより遅延量が少なかった。遅延の収束も、渋谷駅では 95 秒ケースのほうが早く、表参道駅でも同等以上の結果であり、超高頻度運転は突発的な遅延にも対応可能といえる。

d) 変電所容量

現況再現ケースと、ケース 1（95 秒間隔）で運転した場合を比較したときの各変電所き電系統ごとの電流値の変化を計算した。変電所名は番号に置き換えている。シミュレーション時間中に検出された最大電流値と、1 時間平均電流の最大値の増減率を示している。なお、1 時間平均電流は 0.2 秒ごとの電流を 1 時間積算して平均をとった。

1 時間平均電流は全体的に 40% 程度増加しており、運転本数の増加に概ね比例している。半蔵門線の押上方で運転電流が 70% 近く増加しているのは、現況再現のダイヤに存在した清澄白河終着の列車を、95 秒間隔ダイヤでは押上行きとしたことにより、当該区間の運転本数の増加幅が他区間より大きいためである。最大瞬時電流は、区間によってばらつきがあるが、全体としては同等か 20% の増加である。1 時間平均電流の増加に比べて最大瞬時電流の増加が少ないのは、電流が最大となる時期が必ずしも重なるわけではないためである。

1 時間平均電流が上昇することから、変電設備については一定の増強が必要になると考えられる。ただし、最大瞬時電流が極端に増加するわけではないので、技術的に著しい問題を生じる懸念はないと考えられる。

4. おわりに

今年度は、昨年度までの成果をもとに鉄道事業者と議論を重ね、実務的実現を目指すにあたってのシミュレーションの問題および課題を解明し、その課題群を可能な限り改善した。