

リアルな運行データに基づく鉄道列車ダイヤグラムの自動生成

伊藤 総汰[†] 藤田 悟[†]

法政大学 情報科学部

1. まえがき

鉄道列車ダイヤグラムでは、横軸が時間の進行を表し、縦軸が駅間の距離を表すため、同一列車の運行は、斜め下、あるいは、斜め上方向に伸びる線で表現することになる。より具体的には、停車中の列車は、時間の変化に対して距離の移動がないことから、水平な直線で表し、走行中の列車は、駅間を時間と空間の移動として、斜線で表している。この斜線部分は一般的に直線を用いており、すなわち、等速度で駅間を移動する仮定で運行情報を作成している。しかし、実際の運行では、発車直後に徐々に加速し、最高速度に達した後に減速して停車する。また、カーブ区間では減速が必要であるなど、速度は一定ではなく、駅間をダイヤグラム上では曲線で移動している。列車ダイヤグラムが疎である場合には、大きな問題は生じないが、過密ダイヤや遅延発生時については、直線近似によるダイヤグラムでは、誤差が大きく、車両間隔を正しく見積もることができない。勝田らは、駅構内で安全を確保できる列車間隔が路線全体の列車密度を制約する場合が多数であると述べている。すなわち、到着・停車・出発などにより列車に大きな速度変化が起こる駅構内区間では列車が一定速度で走行する駅中間よりも列車間隔を詰めることができない点を指摘した[1]。

本研究では JR 山手線外回りの全線区を対象に、実際の車両運行情報を GPS で計測して数値化し、曲線で表したダイヤグラムを作成し、ダイヤグラムの設計・管理を行うシステムについて研究する。

2. 位置情報に基づいたダイヤグラム生成

GPS を用いて位置情報を取得する iPhone アプリを作成・使用し、鉄道列車の運行状況を把握するための位置情報と速度情報を1秒ごとに取得する。取得した位置情報は実際に通った位置とは必

ず一致するとは限らず、誤差が発生しうる。そのため、公開されている路線の位置情報に近似させることにより、位置情報データを路線に対して補正する。そこから、位置の変化に対してカルマンフィルタによる補正を行うことにより、移動距離の変化が滑らかになるように補正する。この2段階の補正を行い、位置情報データの誤差を削減する。具体的には、山手線外回りについて GPS 測定を5回行い、駅停車区間を抽出して除去したのち、走行区間について5回の測定の中で誤差の小さかった測定情報を求め、ダイヤグラムの生成のための基礎データとして用いた。

作成した位置変化情報と各駅での必要停車時間をもとに鉄道列車ダイヤグラムを作成する。作成にあたって安全な列車間隔を保証することがポイントとなる。リアルな運行データに基づいて、前後の列車がそれぞれ運行中である場合について列車間隔が最小になる箇所を調べ、それが安全距離を満たしているかを確認する(図1)。本論文では、列車の長さを220m、安全距離を300mとし、列車間隔が安全距離を満たす最小の発車時間の間隔を求める。

求めた最小運行間隔に基づいて列車を可能な限り詰め込んだ周期的なダイヤグラムを作成する。最小運行間隔で運行させた場合では全ての列

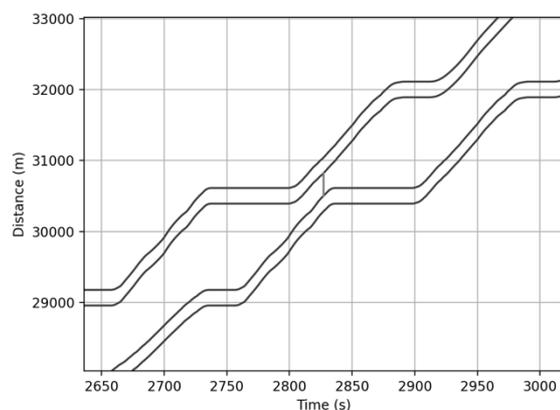


図1 最小列車間隔の検証

Automatic Generation of Railway Service Planning Diagram based on Real Operation Data

[†] Sota Ito and Satoru Fujita, Computer and Information Sciences, Hosei University

表1 生成したダイヤグラムの比較
(停車時間が全駅で統一の場合)

モデル	周期(m:s)	運行間隔 (s)	運行本数 (本/h)
Model 1	49:23	67.3	53
Model 2	49:08	55.6	64
Model 3	38:55	46.3	78
提案手法	49:23	74.1	48

表2 生成したダイヤグラムの比較
(駅により停車時間が変化する場合)

モデル	周期(m:s)	運行間隔 (s)	運行本数 (本/h)
Model 1	52:03	94.6	38
Model 2	51:48	97.1	37
Model 3	36:35	81.3	44
提案手法	52:03	100.7	35
実運用	約 65:00	約 180	20

車が等しい間隔で運行されない場合があるため、全ての列車ができるだけ等しい間隔で運行するよう調整を行う。

3. 実験と結果

3.1. 実験方法

最小運行間隔をもとに、全列車同士の間隔が安全距離を満たし、かつ運行する列車を可能な限り路線内に詰め込んだ最密周期ダイヤグラムを生成する。実験において、各駅への停車時間を(1)全駅 20 秒で統一、(2)駅により停車時間が変化の 2 通りに定める。

同様の条件で、駅間における移動を直線で近似した場合のモデルによる最密周期ダイヤグラムを生成し、提案手法により生成したものと比較を行う。比較用モデルは、駅間ごとの平均速度で近似したモデル(Model 1)、全駅間の平均速度で近似したモデル(Model 2)、駅間ごとの最高速度で近似したモデル(Model 3)の 3 つとした。

3.2. 結果

生成したダイヤグラムの周期・運行間隔・1 時間あたりの運行本数を表 1 ならびに表 2 に示す。周期とは、新宿駅を起点に、再び新宿駅に戻るまでに要する時間を表す。運行間隔とは、先発列車がある駅を出発してから次発列車が同じ駅を出発するまでの時間の差を表す。運行本数は運行本数の逆数を 1 時間あたりの数字に計算し直したものである。いずれのモデルでも、朝 8 時台に山手線外回りで実際に使用されているダイヤグラムよりも高密度に列車を運行するダイヤグラムを

出力することができた。さらに、提案手法では直線近似した場合と比較して最密になりながらも、周期中の全時間で列車同士の安全距離を保つダイヤグラムを出力することができた。例えば、表 1 について Model 1 と提案手法を比較する。Model 1 は駅間の平均速度でダイヤグラムを決定しているため、周期については提案手法と同じ 49 分 23 秒である。一方、運行間隔については、Model 1 は 67.3 秒であり、提案手法の 74.1 秒より短い。運行間隔の差は平均速度を用いることで安全距離が小さく見積もられたためである。

4. 考察

実験結果(表 1, 表 2)に関して、提案手法により生成したダイヤグラムは生成前段階で運行データに基づき 1 秒ごとの列車同士の間隔を検証しているため、速度を直線近似した場合とは異なり周期内の全時刻で車間距離のボトルネックとなる箇所を検証することができている。そのため、速度を直線近似した場合と比較して、できる限り列車を詰め込んだ場合でも列車間隔に余裕が生まれるダイヤグラムを生成できたと考える。また、実際の運用と比較して高密度に運行を行うことができることを示したため、さらに間隔調整を行うことにより実際に使用されているダイヤグラムに近いものを生成できると考える。

実験では安全距離を 300m としたが、実際には列車の速度によりブレーキの制動距離が変化するため、安全距離は速度に依存することになることを考慮することが今後の課題である。

5. まとめ

本論文では、運行中の列車から取得した位置情報をもとに、リアルな運行条件を反映した鉄道列車ダイヤグラムの自動スケジューリング手法について提案を行った。列車を可能な限り詰め込んだダイヤグラムを運行中の列車からとった位置情報を基に生成し、実際に使用されているダイヤグラムよりも余剰している時間を遅延時の対応や、乗降時間の延長に使って高密度に列車を運行させることが可能なことを示した。列車の走行速度による正確な安全距離の定義が今後の課題である。

参考文献

- [1] 勝田 敬一, 高野 たい子, 小熊 賢司, 渡部 悌, 植村 良: 駅構内における高密度列車ダイヤの導出, 電気学会論文 D, 124 巻 8 号, 2004 年