

車両・乗務員数と運転時分の変動を考慮した暫定ダイヤ自動作成手法

國松 武俊 (鉄道総合技術研究所)

An algorithm for provisional timetable reflecting temporary changes of running time and available rolling stocks and crews.
Taketoshi Kunimatsu* (Railway Technical Research Institute)

When it is impossible for the railway company to operate trains along with the timetable due to some disasters or spread of infections, provisional timetable has to be made and enforced quickly to continue to provide transportation services. However, it is hard work for timetable planners to prepare provisional timetables which match the temporal situation, like blockage sections, increase of running time, or shortage of rolling stocks, drivers, crews. In this research, we proposed a timetabling algorithm which can create a provisional timetable for such situation, by calculating operatable number of trains with the limited resources and different running time. We applied that for the actual commuter line under the imaginal scenario of disaster, we confirmed that it can create a provisional timetable with appropriate number of trains.

キーワード：列車ダイヤ、輸送計画、運転時分、暫定ダイヤ、事業継続計画
(train timetable, transportation planning, running time, provisional timetable, business continuity plan)

1. はじめに

列車ダイヤの作成には、多大な時間、労力を要している。ダイヤを作成するために、各駅間の列車走行時間、各駅での停車時間、旅客需要に応じた列車の本数、運転間隔、快速などの優等列車の停車駅、他路線、列車との接続のほか、車両や乗務員の割当計画である車両・乗務員運用も考慮する必要があるからである。その結果、ダイヤ改正を実施する半年～1年程度前から入念な検討を行い、上記の走行時間、停車時間、旅客需要、車両・乗務員運用等の整合が取れた計画を作成している。

しかし、災害等で不通区間や徐行区間が発生した場合、使用可能な車両数、乗務員数が不足した場合には、通常ダイヤでの運行は不可能となるため、その時々状況を踏まえ、列車本数を減便した暫定ダイヤを急遽作成し、実施しなければならない。現在、暫定ダイヤの作成は担当者が人手で行っているが、作成に充当可能な期間が短く、リソースや状況に応じた妥当な暫定ダイヤを作成出来ないという課題がある。

以上を踏まえ、本研究では、災害時等の暫定ダイヤ作成の業務負荷軽減と妥当性の向上の基礎的検討を目的に、パターンダイヤの1サイクルを対象に、各駅停車のみの暫定ダイヤを自動作成する手法を提案する。以下、2章では、災害時等の暫定ダイヤ作成の現状と既存研究について述べ、3章で、具体的な暫定ダイヤ作成方法を述べる。4章では、実在通勤路線への適用例を述べ、5章で結論をまとめる。

2. 暫定ダイヤ作成の現状と研究の目的

〈2・1〉災害等の発生と暫定ダイヤ 地震や台風等の災害で、不通区間が発生した場合や、車両基地の被災により充当可能な車両数に制限が生じた場合、乗務員の間での感染症流行により列車に乗務可能な乗務員数が不足した場合には、通常ダイヤでの運行が不可能となる。その場合には、時々々の運行区間、充当可能な車両数、乗務員数、運転時間などの状況を踏まえ、列車本数を減便した暫定ダイヤを作成、実施しなければならない。近年、大規模災害頻度の増大や、新型コロナウイルス感染症拡大の影響で、このような事態の発生も珍しくなくなっている。

現在、ダイヤは人手で作成しており、暫定ダイヤでも同様である。また、ダイヤ改正と異なり、このような事態は突発的に発生し、翌日の運行ダイヤ作成など、担当者による即座の対応が求められる。さらに、災害の復旧段階では、これらの制限が日々変化し、それに対応する暫定ダイヤを都度、再作成する必要が生じている。

一方で、災害等を想定した事業継続計画の中で、暫定ダイヤを事前に定める鉄道事業者も多くある。しかし、災害等による具体的な被害は多様で、運行可能区間、徐行区間、車両や乗務員数の制限も様々想定され、それらを網羅した計画を事前に準備するのは不可能である。また、事前作成した暫定ダイヤで想定する車両数や乗務員数が、実際に充当可能な車両数、乗務員数より少ない場合には、過剰に列車本数を減らしたダイヤとなり、想定状況の乖離に起

因して、妥当な暫定ダイヤとはならないという問題が発生する。したがって、事前に暫定ダイヤを用意する方法には限界がある。

実際に、災害時等の短期間での暫定ダイヤの作成は、担当者の多大な業務負荷となるだけでなく、リソース活用の面でも課題となることがある。具体的には、例えば感染症流行により乗務員の乗務可能者が減少し、通常ダイヤの要員の 60% となった場合、暫定ダイヤの作成手順は以下となる。まず、仮に運転本数を少な目の 50% に設定し、暫定ダイヤ案を作成する。それに対して、乗務員運用を割り当て、結果、乗務員数が 60% 以内に収まれば、実施可能として作成終了となる。ここで、乗務員割当の結果、仮に必要な乗務員数が 45% と計算された場合には、もう少し列車を増発する余地がある。しかし現状、災害時等は限られた期間内に人手でダイヤを作成するため、終日の実施可能なダイヤを作成するだけで時間を要し、そこから更なる改善案の検討までは、時間が足りず出来ないのが現状である。

この状況を改善するためには、ダイヤを作成すれば必要な車両や乗務員数を求めることが出来るが、充当可能な車両数や乗務員数から、ダイヤや運転可能本数を即座に求める方法が無いという、問題の本質を解決する必要がある。

(2・2) 関連研究 ダイヤ作成を支援するソフトウェアとしては、TrueLine@などが開発されている⁽¹⁾。しかし、あくまで作成を支援するソフトウェアで、担当者が意思決定した列車の運転区間、列車種別、運転時刻、両数等の入力や時刻の演算、ダイヤ図の出力等を自動化するものである。また、ダイヤをコンピュータで自動作成する研究として、利用者デマンドを反映した列車ダイヤ作成アルゴリズム⁽²⁾が提案されている。しかしこれは、災害時等における車両数、乗務員数の制約を陽に考慮して、列車の運転本数、運転区間の調整が行われているわけではない。また、カゲスジ(列車の運行候補時刻)に対する車両ユニット割当によるダイヤ作成手法⁽³⁾では、最終的に車両、乗務員運用を作成し、ダイヤの成立可否を判定するものの、予め設定したカゲスジの組合せによりダイヤを作るため、カゲスジの時刻、運行区間自体を見直す必要がある災害時等には、ダイヤを的確に作成できない課題がある。

一方で、災害時等の暫定輸送計画を対象に、車両運用を自動作成する手法⁽⁴⁾が提案されている。しかしこれは、営業列車のダイヤが定まった状態を前提に、車両運用と付随する回送列車を提案するものである。したがって、災害時等に使用可能な車両数に応じ、営業列車の本数を適切に減らし、ダイヤを定める手法を別途構築する必要がある。その手法と組み合わせて初めて、災害時等のダイヤと車両運用作成の自動化が可能となる。

(2・3) 研究の目的 以上を踏まえ、本研究では以下の要件を満たす、災害時等に対応した暫定ダイヤ作成手法

を構築する。

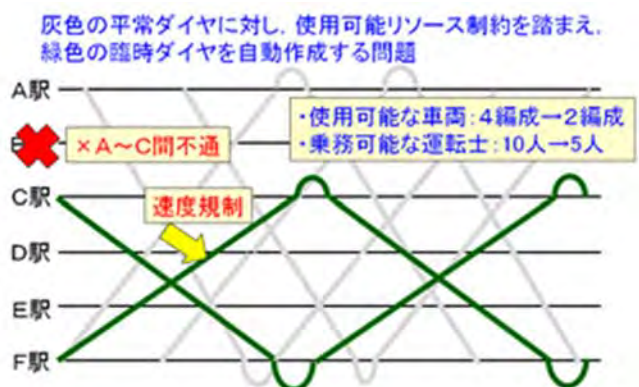
- ・最小運転時分、最小時隔、終端駅折り返し時間、番線競合など、列車運行時刻として基本的条件を満たすこと
- ・減少後の使用可能編成数、乗務員数で運行可能なこと
- ・災害による不通区間だけでなく、徐行による運転時分の増加も反映可能なこと
- ・基礎的な検討をする目的で、各駅停車のみで、パターンダイヤの 1 サイクル分を提案すること

3. 暫定ダイヤの作成手法

(3・1) 対象路線と想定する状況 本研究で暫定ダイヤを作成する災害時等の状況を図 1 に示す。他路線との直通列車が無く、運転頻度が相応の大都市圏通勤路線のパターンダイヤ時間帯を対象に、以下のいずれか(複数可)が発生した場合、運転可能区間を各駅停車が概ね等間隔で運行する暫定ダイヤを作成する。なお、運転可能区間が 2 つ以上に分かれる場合には、1 区間毎に本手法を適用する。

- ・不通区間が発生
- ・徐行(臨時の速度制限)が発生し、運転時分が増加
- ・使用可能な車両編成数が、通常ダイヤの必要数より不足
- ・乗務可能な乗務員数が、通常ダイヤの必要数より不足

ここで、暫定ダイヤにおいては、他路線の列車との接続等の事情により、予め運行時刻を指定する必要がある列車は無いものとする。また、通常ダイヤの一部列車を運休するのではなく、全列車の運行時刻を白紙から再設定し、暫定ダイヤを作成する。これは、大都市圏の通勤路線では、運休とした場合に列車間隔が開き、後続列車に混雑、遅延が発生しやすいため、暫定ダイヤでは各駅停車のみの等間隔の運転とし、混雑の分散を図るためである。なお、対象路線の通常ダイヤでは、快速など各駅停車以外が設定されていても差し支えない。



また、車両編成数、乗務員数は、正確には終日の暫定ダイヤに対する車両・乗務員運用を作成する必要がある。しかし本研究では、まずはパターンダイヤ 1 サイクルの運転間隔を検討する観点で、車両・乗務員運用は作成せずに、運転間隔への影響要因として反映の形とする。

(3・2) 暫定ダイヤの条件 暫定ダイヤは各駅停車のみの等間隔運転のため、運転間隔 TI_t を、図 2 の①車両編成数、②乗務員数、③往復時間の各条件から算出する。

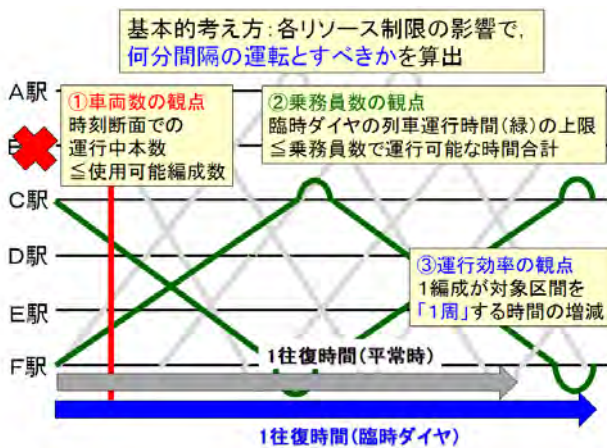


図 2 運転間隔導出にあたり反映する事項

①車両編成数：暫定ダイヤの各時刻において、運行中の車両編成数の合計は、暫定ダイヤで充当可能な車両編成数 RS_MAX 以下となる必要がある。

②乗務員数：暫定ダイヤで充当可能な乗務員数が多いほど、多くの列車が運転可能で、暫定ダイヤの運転間隔は短くなる。したがって、暫定ダイヤ乗務員数を NC_t 、通常ダイヤ乗務員数を NC_r とすると、暫定ダイヤの運転間隔は、乗務員数の比率 (NC_r/NC_t) に反比例する。

③往復時間比率：ある車両 1 編成が、運行区間を 1 往復するのに要する時間 (始端駅 A 発車→終端駅 B 到着→標準折り返し時間→駅 B 発車→駅 A 到着→標準折り返し時間→始端駅 A 発車までの時間) を「往復時間」と呼ぶ。暫定ダイヤの往復時間が大きいほど、運転間隔は大きくなる。したがって、暫定ダイヤの運転間隔は、暫定ダイヤ往復時間 TAT_t を、通常ダイヤ往復時間 TAT_r で除した値に比例する。

上記の要因を考慮すると、暫定ダイヤの運転間隔 TI_t と、通常ダイヤの平均運転間隔を TI_r の比率は、以下を満たす。

$$TI_t/TI_r = (TAT_t/TAT_r)/(NC_t/NC_r) \quad (1)$$

ただし、上記(1)式で計算される TI_t が $TI_t > TAT_t/RS_MAX$ となる場合には、①の車両編成数の上限に制約を受

けるため、以下の(2)式で計算される値となる。

$$TI_t = TAT_t/RS_MAX \quad (2)$$

4. 実在路線への適用

(4・1) 対象路線と適用条件 対象路線は、大都市圏の複線の通勤路線の A 駅-Q 駅間で、対象とする昼間時間帯には、図 3 に示す通り、片方向の 1 時間あたり快速 3 本、普通 4 本のパターンダイヤが採用されている。この路線を対象に、仮に災害の発生等により、運休区間や徐行区間が発生したり、運行に必要な車両数や乗務員数が不足したりした事態を想定し、暫定ダイヤを作成する。

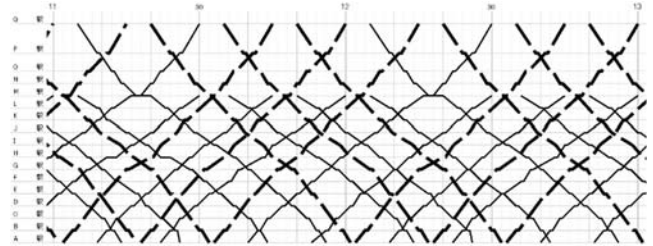


図 3 対象路線の通常時のダイヤ

(4・2) ダイヤ作成結果 提案手法を用いて、自動作成されたダイヤの作成条件と運転間隔を表 1 に示す。表 1 では、通常ダイヤでは、運休区間が無く、車両数、乗務員数、駅間運転時分が通常通りであり、この場合のダイヤ (図 3) の平均運転間隔は 404 秒と計算されることを表す。ケース 1 は、M 駅-Q 駅間が運休となるが、車両数、乗務員数、運転時分に変化が無い場合で、この場合には、リソース不足は生じず、通常ダイヤと同様の運転間隔 404 秒間隔で各駅停車が運転される暫定ダイヤが出力された。ケース 2 では運休区間が無く、乗務員数、運転時分に変化は無いが、車両編成数が 2/3 となる場合で、車両編成数が不足する結果、606 秒間隔の暫定ダイヤとなる。ケース 3 では、乗務員数が 1/2 となる結果、運転間隔が 808 秒と半減するほか、ケース 4 では、徐行により運転時分が延びる結果、運転間隔が拡大することが確認できる。

ケース 5 で作成されたダイヤを図 4 に示す。この場合、M 駅-Q 駅間が運休、車両編成数が 2/3、乗務員数が 1/2 となった結果、運転間隔は 609 秒と計算された。運休区間が発生するため、運行効率は向上する一方で、特に乗務員数が 1/2 となるリソースの制限に影響を受け、通常ダイヤの運転間隔が確保出来ない結果となっている。このような、複数の要因による影響が絡む場合にも、提案手法により適切に運転間隔を算出し、暫定ダイヤを作成することが可能である。ケース 6 は、ケース 5 の条件に徐行による運転時分の増加を加えたもので、作成されたダイヤ図を図 5 に示す。この場

合、運転間隔は 865 秒と計算され、通常ダイヤの半分に満たない列車本数となった。大地震等の場合には、運休区間の発生だけでなく、車両基地や乗務員基地の被災、運転区間の徐行等、複合的な運行条件の変化が発生しやすい。提案手法は、このようなケースでも、運行可能な運転間隔を容易に算出でき、有用であることが確認できる。

表 1. ダイヤの作成条件と作成結果

ケース	運休 区間	車両数	乗務員 数	運転 時分	運転間隔 (秒)
通常ダイヤ	—	—	—	—	404
ケース 1	M-Q 間	—	—	—	404
ケース 2	—	×2/3	—	—	606
ケース 3	—	—	×1/2	—	808
ケース 4	—	—	—	×1.5	576
ケース 5	M-Q 間	×2/3	×1/2	—	609
ケース 6	M-Q 間	×2/3	×1/2	×1.5	865

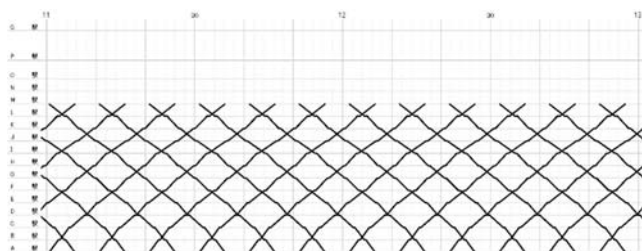


図 4 作成された暫定ダイヤ (ケース 5)

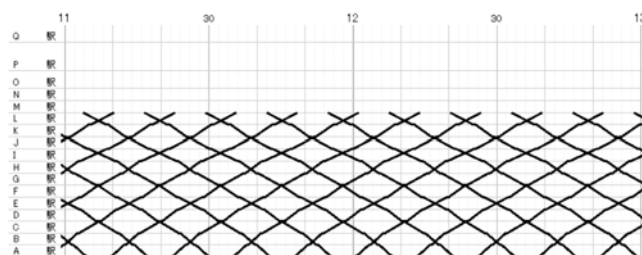


図 5 作成された暫定ダイヤ (ケース 6)

5. まとめ

本研究では、災害や感染症流行時において、ダイヤ担当者による暫定ダイヤの作成を支援する目的で、不通区間、徐行区間の発生や車両編成数、乗務可能な乗務員数の減少による影響を加味し、運転可能区間の全区間を運行する各駅停車が等間隔に設定される暫定ダイヤを迅速に作成する手法を提案した。本手法は、災害発生後の暫定ダイヤの作成に活用可能なほか、事業継続計画の検討時にも活用可能である。

今回、基礎的な検討を行う目的で、パターンダイヤの時間帯を対象に、暫定ダイヤの列車種別も各駅停車のみに限定

した。しかし一方で、昨今の新型コロナウイルス感染症拡大により暫定ダイヤを実施した一部の路線では、朝夕ラッシュ時間帯の列車の混雑の課題が顕在化した例もある。今後、これを踏まえ、提案手法を拡張、改良することで、終日の暫定ダイヤの作成手法の開発に取り組む予定である。さらに、各駅停車以外の列車種別の設定、特急や貨物等の時刻固定列車の考慮等にも、段階的に取り組みたい。

文 献

- (1) 東芝 Web サイト：輸送計画 ICT ソリューション TrueLine®, <https://www.global.toshiba/jp/products-solutions/industrial-ict/trueline.html> (2022/10/24 閲覧)
- (2) 國松武俊, 平井力, 富井規雄：利用者デマンドを反映した列車ダイヤ作成アルゴリズム, 電気学会論文誌 D, Vol.129, No.1, pp.10-20 (2009)
- (3) 坂口隆, 佐藤圭介, 加藤怜, 福村直登：日別需要に基づく鉄道輸送計画作成手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, pp.5-10 (2010)
- (4) 加藤怜, 今泉淳, 中東太一, 小久保達也：災害時の暫定ダイヤに対する車両運用計画作成のための最適化アプローチ, 2022 年電気学会産業応用部門大会予稿集 (2022)