

突発的な浸水被害の回避を目的とした列車停止・旅客避難支援システムの開発

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○奥田 大樹
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 鈴木 崇正
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 深澤 紀子

1. はじめに

鉄道沿線には 10km 程度の間隔で雨量計が設置されており、規制値以上の降水量が観測された時には、列車の運転を中止して、降雨に伴う浸水等の被害を未然に回避する安全対策が取られている。しかし、近年増加している局所的短時間強雨（所謂ゲリラ豪雨）は、雨量計の設置間隔よりも狭い範囲に猛烈な雨をもたらす場合があり、既存の安全対策では、これに伴う突発的な浸水等に対応できない可能性がある。そのため、気象レーダによる面的な降雨予測値を活用した、新たな安全対策の開発が進められている。しかし、局所的短時間強雨の降雨箇所や降水量は、その発生直前（約 30 分前）まで予測困難なことから、突発的な浸水発生リスクがある場合、輸送指令は運行中の各列車がその被害を回避するための緊急的な停止位置を、極短時間で決定・指示することとなり、負担が非常に大きい。そこで筆者らは、輸送指令の意思決定支援を目的として、複線の路線を対象に、浸水被害のリスクを最大限回避できる、最適な列車停止位置を迅速に算出可能なアルゴリズムを構築した¹⁾。そして、これを実装した列車停止・旅客避難支援システムを開発した。

2. 列車停止位置・旅客避難経路算出アルゴリズム

2. 1 入力データの整備

入力データは、沿線における浸水発生予測箇所、および各箇所での浸水の発生予測時間である。本研究では、渡邊ら²⁾の手法に基づき、ナウキャスト³⁾による局所的短時間強雨の降水量予測値から、降雨開始から 60 分後までのデータを、1 辺約 25m のメッシュ単位で整備する。

2. 2 最適な停止位置の算出フロー

まず、入力データに基づき、停車場区間を含む閉そく区間単位で、計算対象路線を表 1 で示した 3 つの区域に分割する。次に、計算対象路線で運行中の各列車を、表 2 で示した 3 つの列車群に分類する。なお、本アルゴリズムでは、迅速な計算を可能にするため、対象路線で運行中の列車が選択可能な停止可能位置は、駅および駅間の

表 1 入力データに基づく路線の区域分け

DH 区域	区間内に浸水発生予測箇所がある閉そく区間と、これらに挟まれた閉そく区間の集合
IH 区域	DH 区域の進行方向後方の閉そく区間の集合
NH 区域	DH 区域の進行方向前方の閉そく区間の集合

表 2 選択可能な停止可能位置が属する区域に応じた各列車の分類

DH 列車群	浸水回避のために停止が必要で、選択可能な停止可能位置が DH 区域のみに存在
IH 列車群	浸水回避のために停止が必要で、選択可能な停止可能位置が DH 区域と IH 区域に存在
NH 列車群	浸水回避のために停止する必要が無い（浸水に影響されず NH 区域に到達可能）

任意地点上に予め離散的に設定して、計算負荷を低減する。次に、路線の区域分けと選択可能な停止地点との関係に基づいて、表 2 で示した 3 つの列車群に各列車を分類する。そして最後に、停止が必要となる DH 列車群と IH 列車群について、それぞれの状況に応じた最適化基準を設定したうえで、それぞれ最適な停止位置を数理最適手法で算出し、これらを合わせたものを最終的な結果とする。なお、計算の際には、信号保安システムの制約（1 閉そく 1 列車）、駅のホーム数、踏切検知区間上での停止回避等の、鉄道路線の実態に即した制約を設定する。

DH 区間内には浸水発生予測箇所が存在するため、DH 列車は停止後にも浸水の被害を受けるリスクが僅かながら存在し、旅客の車外避難が必要となる万が一の事態も考えられる。そのため、DH 列車の集合を I 、列車 $i \in I$ が選択可能な停止可能位置の集合を J_i 、沿線の避難場所の集合を K_i として、式(1)のとおり、列車 i が選択可能な停止可能位置 $j \in J_i$ に停止した際の、最適な避難場所 $k \in K_i$ までの避難所要時間 AT_{ij}^k の総和が最小となるように、各列車の最適な停止位置を算出する。最適な避

Minimize

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{k \in K_i} AT_{ij}^k \quad \dots\dots\dots (1)$$

キーワード 局所的短時間強雨、浸水、列車停止、システム、減災

連絡先 〒185-0053 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 交通計画研究室 TEL 042-573-7309

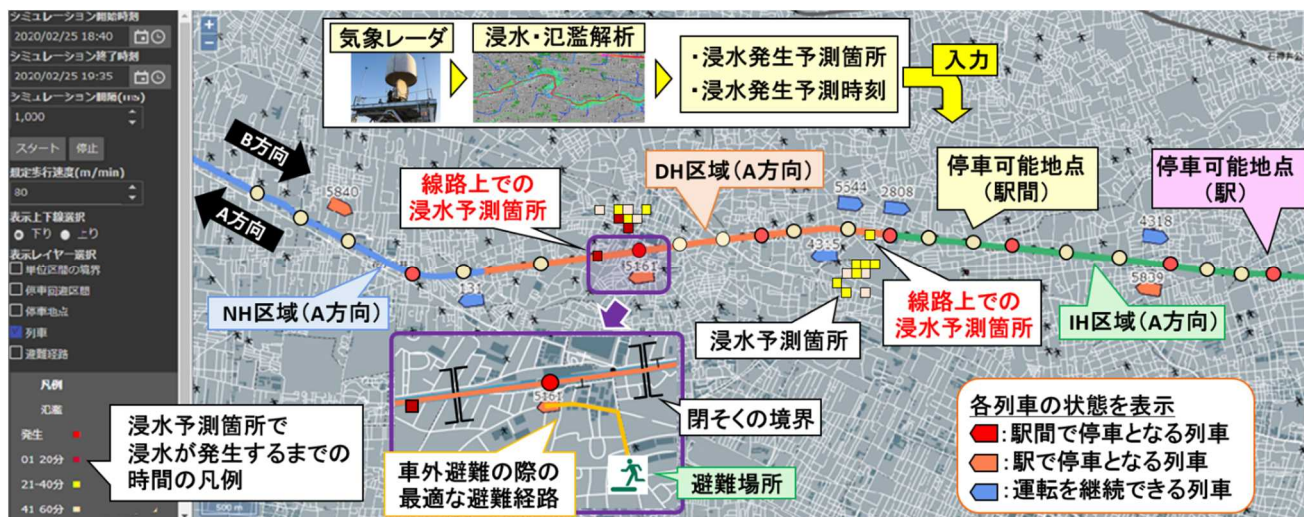


図1 列車停止位置決定支援システムのGUI

避難場所 k とは、列車 i の旅客数以上の収容能力を持つ避難場所の中で、停止可能位置 j から浸水の危険性が無い経路のみを通過したうえで、最短で到達できる避難場所である。避難時間 AT_{ij}^k は、列車 i が停止した停止可能位置 j から最適な避難場所 k までの移動時間に加え、車内旅客数や各停止位置における単位時間当たりの車内からの脱出可能人数を考慮して算出する。また、列車 i が停止した停止可能位置 j が避難場所を兼ねる大規模駅の場合、避難時間 AT_{ij}^k は 0 とする。

IH 列車は、浸水の被害リスクが無い IH 区域内で停止可能なため、旅客の車外避難が必要となる事態は発生しないと考える。そこで、IH 列車の集合を L 、列車 $l \in L$ が選択可能な停止可能位置の集合を M_l として、式(2)のとおり、列車 l が停止可能位置 $m \in M_l$ に停止した際の、旅客の車内待機時間 CT_{lm} の総和が最小となるように、各列車の最適な停止位置を算出する。なお、列車 l が停止した停止可能位置 m が駅の場合、旅客は自由な乗降が可能であるため、車内待機時間 CT_{lm} は 0 とする。

$$\text{Minimize } \sum_{l \in L} \sum_{m \in M_l} CT_{lm} \quad \dots\dots\dots (2)$$

3. 列車停止・旅客避難支援システム

本システムは列車停止位置・旅客避難経路算出アルゴリズムを実装しており、入力データに基づいて運行中の各列車の最適な停止位置を自動で算出して、図1で示したとおり、その結果をGUIで動的に表示することが可能である。計算速度については、例えば、総延長約50km、運行頻度が10(本/時)以上の首都圏の主要幹線を対象とした場合でも、OS: Win10 Pro 64bit, CPU: Intel Core i7-6700 (3.40GHz), RAM: 8GB の環境で、数秒～数十

秒で各列車の最適な停止位置を算出できることを確認しており、局所的な短時間強雨の発生が予測された際に、輸送指令等に対して迅速な譲歩の提供が可能と考えられる。また、閉そく区間や停止可能位置等に関する各種データは自由に更新することができ、様々な仮想状況を想定したシミュレーションでも活用できると考えられる。

4. おわりに

本研究では、複線の路線を対象として、局所的な短時間強雨による突発的な浸水の被害リスク発生時に、これを回避するための最適な列車停止位置を迅速に算出できる、列車停止位置決定支援システムを開発した。本システムは、各列車の最適な停止位置を、データ入力後に数秒～数十秒で算出できることから、局所的短時間強雨による突発的な浸水の被害リスク発生時に、輸送指令の意思決定に資する情報を迅速に提供することが可能となった。今後は、システムの実地での連続稼働試験を実施して、妥当性等の更なる検証を行う予定である。なお、本成果には、総合科学技術・イノベーション会議のSIP「レジリエントな防災・減災技術の強化」(2014～2018年度)による取組みが含まれている。

参考文献

- 1) 奥田大樹他：突発的な浸水の回避を目的とした列車停止位置の推計手法（印刷中），電気学会論文誌 D，Vol140，No6，2020.
- 2) 渡邊諭他：鉄道沿線における局地的短時間豪雨時の流出・氾濫影響評価手法，鉄道総研報告，Vol.32，No.7，pp.11-16，2018.
- 3) 気象庁：高解像度降水ナウキャスト，<https://www.jma.go.jp/jp/highresorad/index.html>