

# 列車退避判定モデルによる 都市水害時の地下鉄列車の退避計画に関する一考察\*

## A Decision-making Model for Train Evacuation Plan against Urban Flood\*

新田博之\*\*・秀島栄三\*\*\*・山本幸司\*\*\*\*

By Hiroshi NITTA\*\*・Eizo HIDESHIMA\*\*\*・Koshi YAMAMOTO\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、都市圏で水害が増大する傾向にある。気候変動により降雨形態が変化していることや都市構造の変化が被害の拡大を助長していることが原因として挙げられている。マスコミなどでも「都市水害」という言葉が取り上げられ、また様々な対策が講じられているものの、諸都市では全く予期していなかった被害が発生している。

ところで都市では地下空間が発達し、ほぼすべての政令指定都市で都市高速度鉄道（以降、地下鉄）が整備、運営されている。地下鉄、あるいは地下街では、地下空間という物理的性質上、常時、地下水の観測、排水管理、地上との連絡体制、避難体制などの様々な安全対策が欠かせないが、突発的な被害をもたらす「都市水害」に対してもさらなる対応が必要とされる。

そこで本研究では、列車を安全に退避させる方策を導くことを目的として、地下鉄構内が浸水した場合における浸水プロセスと列車運行プロセスを結合したモデルを構築する。そして実際の路線を対象とした分析を行い、具体的な列車退避方策と計画に関わる知見を導き出す。

以後、2. では「都市水害」の特徴を述べ、地下空間への浸水の実例を詳解し、浸水時の列車運行とそ

の問題点について論ずる。3. では地下空間への浸水プロセスと列車退避のプロセスとの時間関係を明らかにした上で、列車退避の判定手順を明らかにする。4. では判定基準の適切性を検証するとともに、ケーススタディを通じて全般的な水害時の地下鉄列車退避方策について考察する。最後に5. で本論をとりまとめる。

### 2. 都市水害と地下鉄

#### (1) 都市水害の特徴

ひとことに都市水害といわれるが、本稿では特に都市特有の気候、都市における土地利用、都市施設の複雑性、都市生活者特有の意識などに起因して被害が甚大となる場合を指すものとする。

近年、都市内部の気温は周囲と比べて高いということが報告されている。このため上昇気流によって積乱雲が発生しやすく短時間で非常に激しい降雨が発生する。またエルニーニョ現象に代表される地球的气象変動により、我が国でも本来は熱帯地方でしか発生しないスコールとよく似た降雨現象が観測されている。

都市部では、地価の高騰および空間の有効利用の観点から地下空間の開発が進行している。これらの地下空間に浸水が発生した場合、氾濫水が最終的に集中することから、被害は地上部より大きなものとなりやすい。

また、洪水流を一時的に貯留する遊水池を設置することが都市部では難しく、既に設置されている遊水施設も地下化または廃止されていく傾向にある。護岸がコンクリートで覆われた都市河川、暗渠では、地下水として地中に浸透する割合が低く容量制約

\*キーワード：防災計画 鉄道計画 公共交通運用

\*\* 学生員、名古屋工業大学 大学院 工学研究科 博士前期課程

\*\*\*正員、博(工)、名古屋工業大学 大学院 工学研究科 ながれ領域

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町

TEL052-735-5586、FAX052-735-5586

\*\*\*\*正員、工博、名古屋工業大学 大学院 工学研究科 しくみ領域

から雨水が逆流あるいは地表面に流出しやすい。さらに地表面は殆ど透水性がない舗装で覆われている。降雨は浸透せず表面流となって流出する。

以上より、都市水害は一般の水害と比較して、突発的かつ局地的、さらに機能的輻輳、社会機構の複雑化により、予測を困難とさせると同時に、発生を感知した時点から対策を講じるまでの時間的余裕が少ない水害であるといえる。

## （２）都市水害による地下鉄への被害事例

都市水害によって引き起こされた地下鉄の被害事例として、平成 11 年 6 月 29 日に発生した福岡水害による被害<sup>1)</sup>、平成 12 年 9 月 11 日に発生した東海豪雨水害による被害<sup>2)</sup>、平成 15 年 7 月 1 日に発生した名古屋栄地下街・栄駅の浸水事例などがある。

福岡水害では駅に隣接するホテルの入口部から浸水した。浸水発生時、市営地下鉄は運行を続けていたが、博多駅で軌道上に 20cm ほど水が溜まった時点で空港一中州川端間の運行を停止した。福岡市交通局では防災対策はその時々判断で実施することになっており、明確な行動基準はなかった。

東海豪雨水害では地下鉄入口には止水板や土嚢が置かれたが、浸水した塩釜口駅、野並駅はそれらだけでは対応できなかった。隣接する地下駐輪場の出入口からの浸水が地下鉄構内に流入した。名古屋市交通局へのヒアリングによれば、東海豪雨災害では、庄内川と植田川の氾濫が十分事前に予測できたため、止水板を作動させる以前に列車は全線運休とし、乗客、列車ともに被害はなかったとのことである。

栄地下街・栄駅での浸水では、運行時間帯に地下バスターミナルを含む複合施設（オアシス 2 1）より浸水が発生し、路線上に水が到達した。浸水は 10 分程度で収まったため、運行に影響はなかったとされる。特筆すべき点は、浸水が河川氾濫以外の原因で発生したことであり、都市水害の予測の難しさや地下空間の脆弱性を改めて示したものとなった。

## （３）災害時における地下鉄事業者の対応

地下鉄では、水害時の浸水に対するハード的な施策として、地上出入口における止水板、土嚢の設置、河川周辺のトンネル部における止水壁の設置などを行っている。通常の降雨で構内が急に浸水する可能

性はきわめて低く、浸水対応のためのポンプを設置することは費用対効果の観点から現実的でない。すなわちハード的施策は地上で浸水を防ぐ施策のみがとられている。一方でバリアフリーの観点から駅出入口の底上げが廃止される方向にあり、浸水に対する脆弱性を増大させていることも指摘される。

ソフト的施策としては災害発生後速やかに営業運転を停止し、乗客を地上に避難させることに主眼をおいている。また災害対応マニュアルを作成し、これに則った行動をとることとなっている。しかし、営業運転の停止後、列車の避難については細かな行動基準はなく、経験則や司令室の判断によって対応するようである。全列車を車両基地に退避させるには時間がかかり、その最中に新たな浸水が発生しないとも限らない。都市水害は予期せぬ事態を招いていることを踏まえれば浸水地点の近くに列車が存在する最悪の状況を想定し、列車という資産を損失しないよう退避計画を想定しておく必要があるだろう。

ハード的施策のみで浸水に対処するのは経済性から現実的ではなく、列車を安全に退避させるためのソフト的施策を適切に組み合わせるべきであろう。本研究でもこの点に配慮することとしたい。

## ３．地下鉄列車退避判定モデル

### （１）モデルの概要

名古屋市によれば、浸水時には列車の運転は運転司令室の指示に従い、浸水のおそれのない場所に回送することになっているが、回送場所を車両基地とするとは明記されていない<sup>3)</sup>。これは退避地点が安全であれば水が引くまで列車の孤立を認めることを意味している。地下鉄路線の縦断面は浸水に備えて高低差をつけており、水が低いところに流れるようにしている。可能であるならば列車は車両基地まで退避させることが望ましいが、緊急の場合には列車は取り急ぎ近くの高い地点へ退避させることが有効である。なお、上述のように、本研究は乗客の地上への避難後を想定しており、乗客の避難誘導に要する時間などは考慮に入れる必要はない。

以下ではまず、地下構内に浸水が発生するプロセスがあり、次いで浸水に対応して地下鉄列車がどのような行動をとりうるかを説明する必要がある。本

章では両プロセスを接続する数理モデルを構築する。本モデルで水害の状況に対応して列車を退避させる方策を導くことで、従来まで経験と勘に頼っていた方策の決定を迅速かつ合理的に行うこと、また、浸水に対する事前対策を計画する際の指針を示すことが期待される。

まず、モデルにおいて使用する地下鉄路線を単純化する。地下鉄の路線を図-1に示すように複数の線分と複数の変勾配点の組み合わせとして単純化して表現する。列車の位置は始点からの距離  $y$  で表現する。

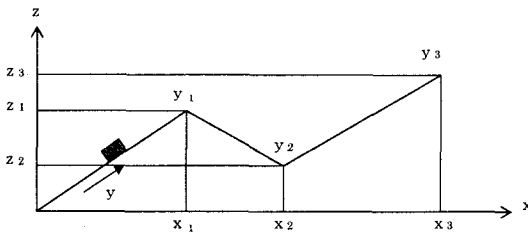


図-1 単純化した地下鉄路線図

ただし、以下のような仮定をおく。

- ・路線は単線とし、渡り線などは考慮しない。
- ・1編成のみを取り上げ、他の列車との相互関係は考慮しない。
- ・列車の逆走を許可する。
- ・列車の速度は一定とし、加速度は無視する。
- ・列車の長さを考慮しない。

## (2) 駅構内浸水プロセス

地下空間への浸水過程に着目した研究は少ない。高橋ら<sup>4)</sup>は、地下空間への浸水プロセスの数値シミュレーション法の開発のため、運動量式と連続式からなる二次元平面流れのモデルを用いた地上と地下空間の氾濫をリンクして計算できるようなモデルを構築し、模型実験との比較検討によってモデルの妥当性を検証した。戸田ら<sup>5)</sup>は、地下空間の浸水過程の事前予測手法として、貯留槽モデルを基礎とした数理的モデルを提示した。地下空間の複雑性などもあり水理学的見地からの解明は端緒についたばかりと考えられる。本研究ではこれらの研究および名古屋市<sup>2)</sup>に基づき、地下鉄駅構内への浸水については以下のように想定する。

まず、浸水はある一つの駅の地上出入口からのみ発生するものとする。駅にはそれぞれ幅の違う出入口が複数存在し、各出入口には番号  $n$  をつける。駅への流入量は、地上の氾濫水深  $h_f$  に依存する。

$h_f$  は時間変化する。以下の分析の都合上、路線への浸水が始まる時点を  $t=0$  とし、路線に流水が到達するまでの所要時間を  $\tau$  とし、 $h_f$  を  $(t-\tau)$  の関数として表現する。つまり、 $t \leq \tau$  では、路線への浸水は発生していない。時刻  $t$  の路線への流入量は時刻  $t-\tau$  の氾濫水深  $h_f(t-\tau)$  に対応して求められる。 $h_f = h_f(t-\tau)$  を水位上昇関数と呼ぶこととする。

駅出入口から線路部までの構造は実際には非常に複雑であるが、ここでは階段を通じて路線部に流入する流れを段落ちの水流とみなし、段落ちの公式を用いて路線流入流量  $Q_e$  を式(1)のように表現する。

$$Q_e = \sum_{n=1}^k B_n \left\{ \mu h_f(t-\tau) \sqrt{g h_f(t-\tau)} \right\} \quad (1)$$

ここに、 $B_n$ : 入口  $n$  の幅、 $\mu$ : 段落ち時の流量係数(段落ち部のエネルギー水頭に依存する値であるが、井上<sup>6)</sup>にしたがい、 $(2/3)^{3/2}=0.544$  の定数を用いる)、 $g$ : 重力加速度である。なお、多田ら<sup>7)</sup>は、段落ちモデルが地上部から地下部へ流入するに要する時間が考慮されていないことを指摘しているが、本研究では  $\tau$  にこの時間も含まれるものと想定している。また、地上部の水深が 0.5m 以上になると実際よりも流量が過小に算出されることも指摘しているが、本研究では簡略化のためこれを考えないものとする。

次に、式(1)で与えられた流量が、路線内に与える影響を判定するが、既存の研究では氾濫水の水位が時間とともに貯留されるプロセスに注目しており、浸水初期の流水の挙動についての研究事例は少ない。そこで、本研究では式(1)で与えられる流量  $Q_e$  より、氾濫水の流下方向の路線部(後述する浸水不能区間)の水深を求めることで浸水初期の状態を記述することとする。

一般に、路線のレールレベルまで水が達すると、列車は電気系統に故障が生じ、通過できなくなるため、司令の制御により当該区間の信号はすべて停止信号となる。通常、駅間が短く、分岐などの少ない地下鉄では、信号が駅のみを設置されていることから、路線上の一部でもレールレベル以上の水位があれば当該駅間はすべて通行不能となる。

レールレベルまでのトンネル断面は、長方形と近似することが出来るため、各地点の浸水水深  $H$  は長方形断面の開水路の Manning の公式を変形した式(2)から収束計算によって算定され、レールが水没するか否かを判定する。

$$\frac{Q_e - P}{BH} = \frac{1}{n} \left( \frac{BH}{2H + B} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \left| \frac{dz}{dx} \right| \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここに  $P$  : ポンプアップ容量、 $n$  : Manning の粗度係数、 $B$  : 水路幅、 $H$  : 水深、 $\frac{dz}{dx}$  : 路線勾配である。

なお、式(2)において、ポンプアップによる流入流量の補正を行っているが、一般に、地下鉄構内に設置されているポンプは湧出する地下水に対応するためであり、浸水対策のために専用のポンプを設置している場合を除いて、流入流量に対し非常に小さく、通常は無視しても差し支えない。

以上、式(1)から式(2)のプロセスより、レールまで水没する時間を求める。また、浸水によって物理的に通行不能となる区間を通行不能区間とする。一方、通行不能区間を含んでおり、信号現示によって通行不能となる駅間を通行不能駅間と定義してそれぞれ検出する。

### (3) 列車退避方策判定基準

地下鉄浸水モデルにより路線が水没するまでの時間が算出されると、これにより列車をどの場所へ待機させるべきかを判定することが出来る。退避先は原則として直近の凸点とする。ただし、退避先の候補地点がどのような状況であるかをチェックしておく必要がある。起こりうる状況として、退避地点が通行不能駅間にある場合と退避地点が通行不能駅間にない場合とがある。これらいずれの状況かによって判定する基準が異なり、これを危険許容基準と呼ぶこととする。危険許容基準として以下の2つのレベルが考えられる。

レベル1 : 最も近い退避候補地点を退避地点とする。

レベル2 : 通行不能駅間外に退避し、かつ通行不能駅間外で最も近い退避候補地点を退避地点とする。つまり、レベル2の方がレベル1より安全側をみている。また、レベル1では通行不能駅間で、かつ通行不能区間でない列車は、駅間の信号に関係なく

移動できるものとする。

以上の前提に基づき、列車退避方策の判定モデルを構築する。

まず、列車の現在位置  $y$  に対する退避候補地点を式(3)～式(5)によって決定する。

$$l_f = y_f - y \quad (3)$$

$$l_b = y - y_b \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} l_{c0} &= l_f \quad (l_f < l_b \text{ のとき}) \\ l_{c0} &= l_b \quad (l_f \geq l_b \text{ のとき}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 $l_f$  : 前方退避地点までの距離、 $l_b$  : 後方退避地点までの距離、 $y_f$  : 前方退避地点の  $y$  (距離) 座標、 $y_b$  : 後方退避地点の  $y$  (距離) 座標、 $l_{c0}$  : 初期退避候補地点である。つまり、初期退避候補地点は退避可能な2点のうち、距離に近い方が選択される。

次に、選択した退避候補地点に列車は向かうが、このとき、路線が水没する時間内に列車が通行不能区間(または通行不能駅間)内を脱出できるかを算定し、脱出可能である場合、初期退避候補地点が退避地点となる。一方、脱出できない場合は退避候補地点を初期退避候補地点と逆の方向にある地点(遠い地点)に設定し、もう一度所要時間を算定する。このとき、脱出可能であれば、変更された退避候補地点が退避地点となる。しかし、脱出出来ない場合は、列車は水没する(動けなくなる)。

以下に、危険許容基準レベル1に対する定式化を行う。たとえば、初期退避候補地点に  $y_f$  が選択されたとすると、

$$l_{fi} = y_{fi} - y \quad (6)$$

$$(t - \tau)_{sf} = l_{fi} / v \quad (7)$$

となる。ここに、 $l_{fi}$  : 列車位置から通行不能区間の  $y_f$  方向への端点までの距離、 $y_{fi}$  : 通行不能区間の  $y_f$  方向への端点の  $y$  (距離) 座標、 $(t - \tau)_{sf}$  :  $y_f$  を退避候補点とした場合の脱出時間、 $v$  : 列車速度(一定とする)、である。なお、 $y_f$  は必ず通行不能区間の外または通行不能区間の端点上にあるので、

$$y_{fi} \leq y_i \quad (8)$$

ここで、以下の条件式①が成立する場合、 $y_f$  を退避地点として決定する。

$$\text{条件式①: } (t-\tau)_{sf} \leq (t-\tau)_d$$

$$T = l_f / v \quad (9)$$

ここに、 $(t-\tau)_d$ : 通行不能区間の水没時間、 $T$ : 退避時間である。一方、条件式①が成立しなかった場合は、退避候補地点が  $y_b$  となる。このとき、

$$l_{bi} = y - y_{bi} \quad (10)$$

$$(t-\tau)_{sb} = l_{bi} / v \quad (11)$$

となる。ここに、 $l_{bi}$ : 列車位置から通行不能区間の  $y_b$  方向への端点までの距離、 $y_{bi}$ : 通行不能区間の  $y_b$  方向への端点の  $y$  (距離) 座標、である。なお、 $y_{bi}$  も必ず通行不能区間外または通行不能区間の端点上にあるので、以下の条件が成立する。

$$y_b \leq y_{bi} \quad (12)$$

条件式①が成立せず、以下の条件式②が成立する場合は、初期退避候補地点よりも遠い地点が退避地点として選択されたこととなる。

$$\text{条件式②: } (t-\tau)_{sb} \leq (t-\tau)_d$$

$$T = l_b / v \quad (13)$$

ここに、 $(t-\tau)_{sb}$ :  $y_b$  を退避候補地点とした場合の脱出時間である。いずれかの条件式が成立し、退避地点が決定した場合、退避にかかる時間  $T$  を算出する。一方、①、②がいずれも成立しない場合は、列車は

どこにも退避できなくなり、退避不能、すなわち水没に到ると判定される。以上の流れを図示すると、図-2 のようになる。

なお、危険許容基準がレベル2の場合は、通行不能区間の端点が通行不能区間の駅に置き換えられるのみであるので、式については割愛する。また、レベル1の場合、信号現示により通行不可とされている区間、つまり通行不能駅間内にある通行不能区間にない列車も路線水没後も移動可能としている。

さらに、本モデルで取り扱う、浸水の到達時間  $\tau$  を拡張することにより、

- ・浸水する駅が複数存在し、浸水に時間差が生じる場合は各駅の  $\tau$  を調整することにより、一路線で連続的な分析を行うことが可能である。

- ・実際の列車の退避方向の決定における、人間の判断時間に要する時間や、停車や逆走による時間損失を考慮に入れることが可能となる。

#### 4. 事例分析と退避計画に関する考察

##### (1) 事例分析

3. において作成したモデルを、名古屋市交通局 鶴舞線に適用して分析を行った。鶴舞線は名古屋市

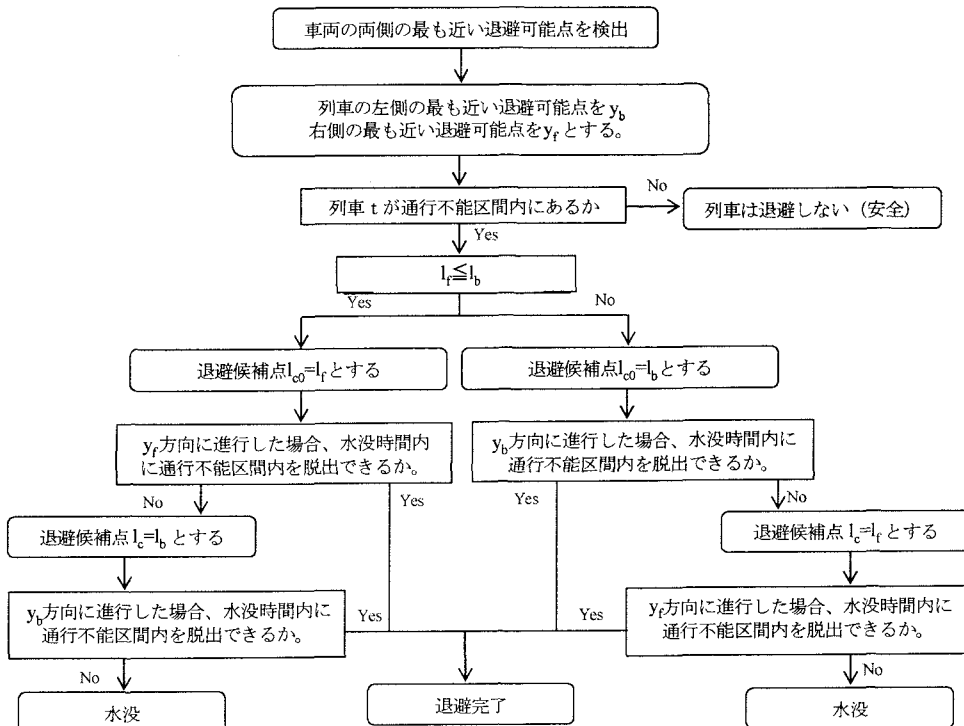


図-2 列車退避地点判定の流れ (危険許容基準レベル1の場合)

内を北西から東南にわたって結ぶ路線であり、東海豪雨災害において路線西部を流れる庄内川の破堤と、東部を流れる植田川の暗渠部の氾濫により、浸水による被害を最も受けた路線である。

分析方法は、浸水発生時における列車の初期位置を変数とし、浸水発生時に列車が存在したとき、列車の水没の危険が生じる区域を見出す手法を用いる。分析に用いた各種パラメータを表－１に示す。なお、各駅の入口幅や入口数および路線の座標値は、資料を参考にした値を与え、地下駐輪場を隣接する駅については駐輪場入口の数、幅も考慮に入れている。

表－１ 分析に用いたパラメータ

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| レールレベル $H_r$ | 0.198m                   |
| ポンプアップ容量 $P$ | $0\text{m}^3/\text{sec}$ |
| 路線の水路幅 $B$   | 3.0m                     |
| 粗度係数 $n$     | 0.02                     |
| 到達時間 $\tau$  | 60sec                    |
| 列車速度 $s$     | 15km/hr                  |

次に、氾濫水深  $h_f$  を関数で与えるが、本研究では、浸水の初期段階を対象としているため、式(14)に示すように氾濫水深が上昇速度に正比例するものと仮定する。

$$h_f = u(t - \tau) \quad (14)$$

ここに、 $u$ ：水位上昇速度である。水位上昇速度は、同じ確率降雨であっても、地上の諸条件によって異なることがシミュレーション分析によって明らかにされていること<sup>8)</sup>から、これを参考に３パターンを想定し、表－２のように与え、それぞれについて分析を行う。以上の条件を与えた上で、鶴舞線全線の各駅がそれぞれ浸水した場合について解析を行った。

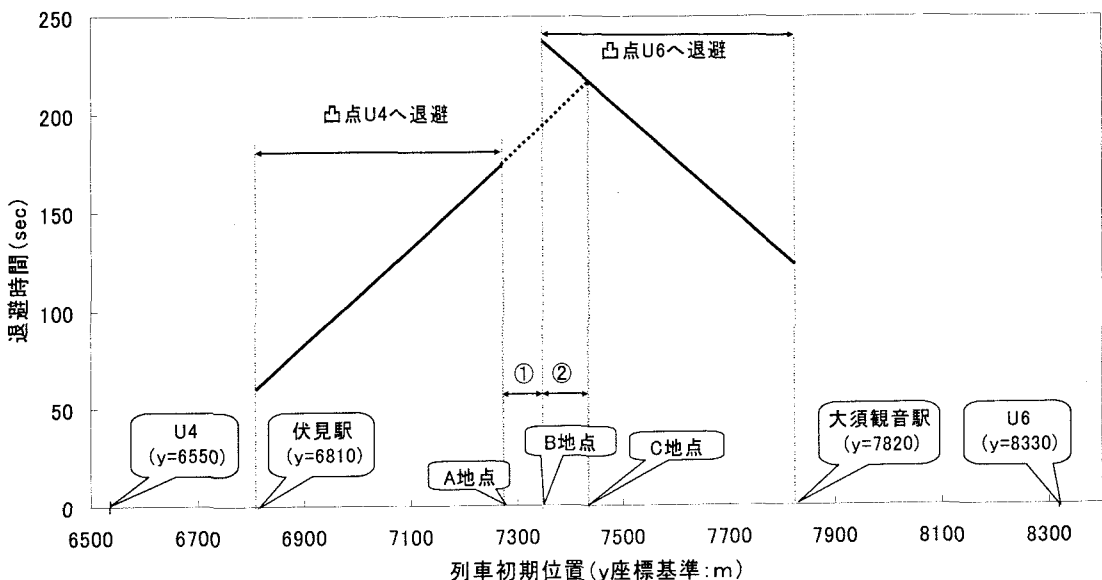
表－２ 水位上昇速度のパターン

| パターン  | $u(\text{m/sec})$ |
|-------|-------------------|
| パターン１ | 0.0005            |
| パターン２ | 0.001             |
| パターン３ | 0.002             |

## (２) 事例分析の結果および考察

事例分析の結果として、まず、当然ながら、多くの区間では退避地点の選択が直近の退避候補地点となった。また、入口数等の条件が同じであった場合は、駅間の距離が離れるほど水没する可能性が高いことが明らかとなった。

さらに詳細な分析結果として、危険許容基準レベル２の水位上昇速度パターン２において、伏見駅が浸水した場合を解説する。結果は横軸に列車初期位置を  $y$  座標で示したものの、縦軸に退避に要した時間をとったグラフで、図－３のように表示する。なお、図－３には説明のため駅名や退避方策が変化する地



図－３ 事例分析結果の一例（伏見－大須観音間、伏見駅が浸水、パターン２、危険許容基準レベル２の場合）

点（A地点、B地点、C地点）を示しており、A地点とB地点の間を区間①、B地点とC地点の間を区間②とする。

浸水により伏見一大須観音駅間は通行不能駅間となる。退避候補地点は通行不能駅間両端外にある凸点U4（伏見駅方向）、U6（大須観音駅方向）のいずれかとなることがわかった。退避不能となる列車は、区間①に示されるA地点からB地点までとなり、浸水開始時に列車がこの地点にあった場合、退避が不可能であると判定される。

一方、B地点からC地点にわたる区間②にある列車は、退避地点までの距離の短い凸点U4ではなく、距離の長い凸点U6を退避地点に選択している。これは、U4方向に退避した場合には水没時間内に通行不能駅間を脱出できないためである。退避地点が退避地点の距離のみで選択され、退避不能となる区間が存在しないのであれば、退避時間のグラフは一つの頂点をもつ連続した2直線で表現でき、グラフは破線で示すようになる。

結果をまとめると、列車の退避が不能となる区間が危険な区間であることは言うまでも無いが、距離の遠い退避地点を選択している区間では、距離の近い退避地点に退避することが危険であるため、危険区間に準ずる区間であるといえ、列車退避には注意を要する区間であると解釈できる。

鶴舞線全線に対して以上の分析を行い、列車退避が不可能となる区間と距離の遠い退避地点が選択される区間を検出した。図-4にパターン3の検出結果例を示す。このパターンでは地上入り口の浸水発生より路線の浸水深がレールレベルを超えるまでの時間が160秒であった。この結果例から以下のことがいえる。まず、列車の退避を考える場合、信号

現示によって誘導することが現実的であり、駅間のみに信号を設置している場合は危険許容基準レベル2に該当する。よって、列車退避方策のひとつとして、区間内に信号（平常時は使わなくてもよい）を設けるなどして退避不能駅間（信号区間）を短くし、列車の退避を助ける仕組みを作ることが列車退避方策の一つとして挙げられる。図-4の危険許容基準レベル2において列車水没の危険性が示された区間は6箇所、距離の遠い退避地点が選択されている退避に注意を要する区間は3箇所（1区間は列車水没の危険性のある区間と連続している）であったが、レベル1では列車水没の危険性のある区間の2箇所、退避に注意を要する区間の2箇所以外は直近の退避地点に退避可能と判定されているように、信号機を駅間毎に設置する以外に、細かい区間に設置するなどの対応でほとんどの列車の水没を免れることを示している。これは列車の移動に関する施策で、司令システムでも対応可能と考えられることから、ソフト的施策といえる。また、直近の退避地点が選択されなかった区間については、注意を要する区間と定め、司令側であらかじめ退避のルールを決めておくといった対応が可能であると考えられる。

一方、危険許容基準レベル1でも列車が退避不能と判定された庄内緑地公園ー庄内通間、伏見一大須観音間の2箇所は、ソフト的施策での対応には限界があると考えられ、信号機の設置や退避方針の事前決定のほかにも、止水壁の設置や浸水対応型ポンプの設置といった浸水を物理的に防ぐハード的施策による対応が適当と考えられる。

以上の結果より、設定した条件下での鶴舞線全区間では、危険許容基準レベル2の場合に列車水没の危険性のある6区間には信号機の増設や司令システ

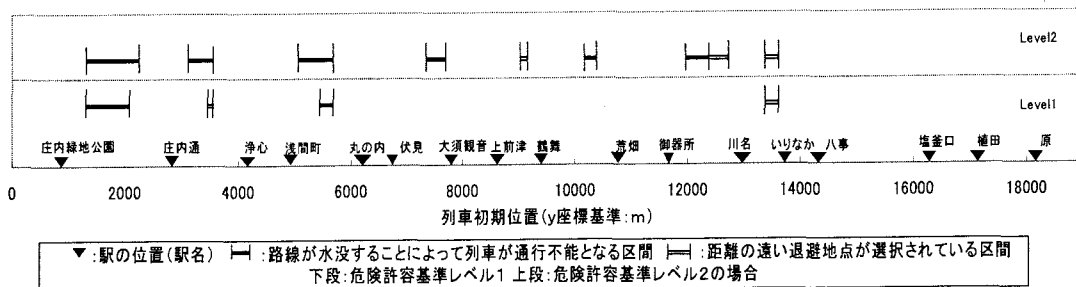


図-4 鶴舞線全線の通行不能区間および注意を要する区間の検出結果（パターン3の場合）

ムの見直しといったソフト的施策、危険許容基準レベル1の場合でも列車水没の危険性が示された2区間にはそれに加え止水壁、ポンプの増設などのハード的施策を行うことが、浸水に対する最低限必要な対策であることが分かった。さらに、直近の退避地点が選択されず、退避に注意を要する区間では、浸水発生時の退避の方法を定めておけばよいといえる。

## 5. おわりに

本論文では、高度に集積した都市空間の中で、起こりうる災害に対して事前に様々な状況を想定することが重要と考え、地下鉄の被災について、浸水災害に焦点を当てて考察した。具体的にはモデル分析の結果から列車を安全に退避させるための方策を導き出す方法論を構築した。

本研究で示した分析を行っておくことにより、同一路線においても、駅間の距離といった条件によって列車の退避方策が異なることから、浸水に対する事前対策を講じるときの留意点や、司令の緊急時の選択と集中のための指針を示すことがより可能となる。また、ソフト的施策とハード的施策の使い分けを行うことによる合理的な防災計画が策定できる。

ただし、構築したモデルは実際と比べ、かなり捨象している部分がある。今後解明すべき問題として、列車の指示誘導、人間の判断による時間のロスなどの影響を把握することで、モデルの現実性をさらに

高めていきたい。また、地下空間への浸水現象については水理学的に解明されていない面もあり、この点において実証的課題も残されている。

最後に、資料の提供、助言を頂いた名古屋市交通局および同消防局に深く感謝する次第である。

## 参考文献

- 1) 運輸省、自治省、国土庁、建設省：福岡市地下空間被害四省庁合同調査報告書, 1999.
- 2) 建設技術研究所：名古屋市風水害被害想定調査報告書，§ 5-1-5-41，2001.
- 3) 名古屋市防災会議：名古屋市地域防災計画 風水害等災害対策編，pp. 271-p273，1999.
- 4) 高橋保・中川一・野村出：洪水氾濫に伴う地下街浸水シミュレーション，京都大学防災研究所年報第33号B-2，pp. 427-442，1990.
- 5) 戸田圭一・井上和也・大八木亮・栗山健作：地下空間での浸水とその解析法，地下空間シンポジウム論文・報告集第8巻，土木学会，pp. 187-194，2003.
- 6) 井上和也：開水路非定常流とその水工学への応用に関する研究，京都大学学位論文，pp172-177，1986
- 7) 多田彰秀・井上啓由・本田洋平・古本勝弘：直階段から地下空間へ流入する流量の評価に関する実験的研究，水工学論文集，第45巻，pp. 901-906，2001.
- 8) 武富一秀・館健一郎・金木誠：地下空間の浸水リスク評価のための基礎検討，土木学会第57回年次学術講演会講演集，pp. 571-572，2002.

---

## 列車退避判定モデルによる都市水害時の地下鉄列車の退避計画に関する一考察

新田博之・秀島栄三・山本幸司

近年都市圏において発生している都市水害に対し、地下空間の浸水に対する脆弱性が指摘されている。本研究では、特に浸水発生時において地下鉄列車を安全に退避させるための具体的な列車退避方策を導き出すことを目的として、地下空間への浸水プロセスと列車退避プロセスを結合したモデルを構築する。名古屋市交通局鶴舞線に本モデルを適用した上で、浸水に対する合理的な防災計画の策定について考察する。

---

## A Decision-making Model for Train Evacuation Plan against Urban Flood

by Hiroshi NITTA, Eizo HIDEISHIMA and Koshi YAMAMOTO

It is pointed out that underground space is very vulnerable to water invasion by the so-called "urban flood". This study provides a time-series model connecting hydraulic process and train evacuation process so as to derive the best action at the train evacuation phase in any cases of water invasion. The model is verified by an example of the Tsurumai subway line of Nagoya City for implementing rational disaster prevention planning of subway.

---