

道路冠水時の交通特性*

Car traffic characteristics under road submergency*

平位 高浩**・角 知憲***・梶田 佳孝****

By Takahiro HIRAI**・Tomonori SUMI***・Yoshitaka KAJITA****

1. はじめに

現在、洪水を想定した避難計画は徒歩を原則としている。しかし、洪水が起きるような大雨の中で徒歩による避難勧告が出された場合、足場が悪い中、傘をさしながら避難しなければならない。日常的に車を利用している住民にはこうした困難な避難の要求は非現実的であると受け取られる恐れがあり、結果的に低調な避難率の原因になりかねない。そこで早期避難に限り車による避難を認めることで、迅速な避難行動を促進する可能性もある。その可能性を検討するためには道路冠水時の車の交通特性を把握する必要がある。

気象状況と交通特性の関係を論じる研究は佐藤ら¹⁾や阿江ら²⁾によって行われているが、道路が冠水した場合の交通特性に関する研究はほとんど行われていない。この理由の一つとして、道路冠水状態が極めて稀な状況下でしか起きないため、交通特性を把握するだけのデータを集めるのが困難であることが挙げられる。

ところで、大雨、洪水時などの報道では冠水時の自動車の走行状況が放映されることがある。冠水時の交通特性を調べる研究資料として、この画像情報が最も容易に入手できるものであると考えられる。

そこで本研究では、この画像情報に基づいて冠水時の交通特性を定量化することを目的とする。



図 - 1 . 報道資料の一例

2. 冠水時画像情報の解析手法の概要

(1) 使用資料の概要

(図 - 1) は 2008 年 5 月 ~ 7 月に各局で放映された日本列島を襲った豪雨による被害を伝える TV ニュースを断続的に録画したものの一例である。一般に報道資料は大雨、洪水の被害をより詳しく伝えるためのものであり、そのほとんどが研究資料として適当なものとは言えない。そこで信頼性の高い交通特性のデータを得るため、以下の四つの条件を満たす画像情報のみを用いることとする。

- カメラが固定していること
- 車が側面を見せながら走行していること
- 車の足元が映っていること (浸水深測定のため)
- 信号や歩行者の影響がないこと

収集した録画画像は 60 分程で、上記の条件を満たし、実際に解析に使用できる画像情報はトータル 5 分程と非常に限られたものとなった。このわずかなデータを基にデータの分析を行った。

*キーワード：交通流、防災計画

**学生会員、工修、九州大学大学院 工学府
(福岡県福岡市西区元岡744番、
TEL092-802-3403、FAX092-802-3403)

***正会員、工博、九州大学大学院工学研究院

****正会員、工博、九州大学大学院工学研究院

(2) 測定方法の概要

対象とする分析データは、道路冠水時の交通特性として自由走行速度 (km/h) と最小車間距離 (m) とする。

自由走行速度は、単独走行または前方車との車間が十分に離れた車を対象 (図 - 2) とし、画面に付けた印 (緑線) を基準に車体 (黄線~赤線) 通過時間を測定し、車長から除して求める。車長に関しては車種を判別することで公表車長を調べ、(表 - 1) のように四段階の車長区分で簡略化することとした。また、測定結果は測定精度を考慮して5 (km/h) 区切りでまとめる。

最小車間距離は、前方車と後続車が十分に接近している場合を対象 (図 - 3) とし、画面に付けた印 (緑線) を基準に車間 (黄線~赤線) 通過時間を測定し、後続車の走行速度を掛け合わせて求める。後続車の走行速度に関しては、上記の自由走行速度と同様の方法で求める。

それぞれの測定に当たり、使用した動画再生ソフトでは一秒未満の時間表示ができなかったため、報道資料を1/2倍速で再生し、ストップウォッチを用いて通過時間を0.5秒の精度で測定した。また、手動計時にはランダムな誤差が避けられないため、十分再現性が得られるまで繰り返して平均の値を取ることにした。

観測データを分類する上で浸水深の測定が不可欠であるが、入手した報道資料では厳密な深さを求めることはできなかった。そこで視覚的に判断しやすいタイヤのリム部とゴム部の境界 (軽自動車で約10cm、普通車で約12cm) よりも水深が上か下かの二段階で浸水深を分類する。水面が境界より上にある場合を浸水高、境界より下にある場合を浸水低と定義し、第三章の観測結果の分析のときに用いる。

3. 交通特性の観測結果

(1) 自由走行速度データ

得られた自由走行速度のデータ数は浸水高に属するものが6、浸水低に属するものが12であった。これらを速度区分ごとにまとめると (図 - 4) のようになる。また、これを累積比率分布図にすると (図 - 5) のようになる。

(2) 最小車間距離データ

得られた最小車間距離のデータ数は浸水高に属するものが5、浸水低に属するものが7であった。これを横軸速度 - 縦軸最小車間距離のグラフで表すと (図 - 6) のようになる。また、図中にある路面湿潤時における最小車間距離の設定は第四章で説明する。



図 - 2 . 自由走行速度の測定



図 - 3 . 最小車間距離の測定

表 - 1 . 車長の簡略化

車長区分	軽自動車	小型普通	中型普通	大型普通
公表車長	3.0~3.5	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5~5.0
簡略車長	3.5	4	4.5	5

(単位:m)

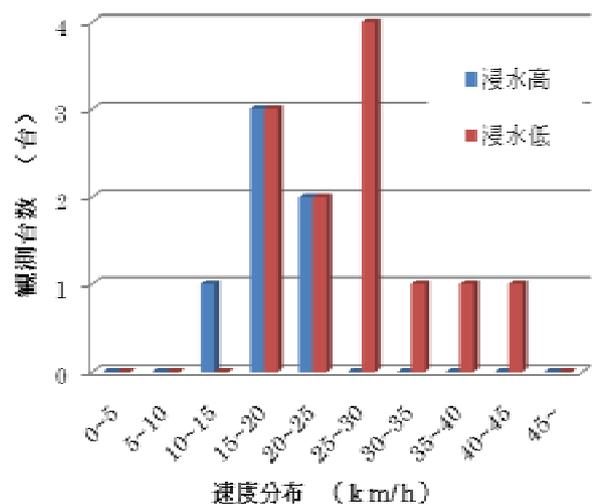


図 - 4 . 自由走行速度の観測結果

4. 道路冠水時の交通特性

(1) 道路冠水時の自由走行速度

浸水高の自由走行速度は10～25 (km/h) に集中して分布がしており、浸水低の場合は20 (km/h) 未満の車が約20%、20～30 (km/h) の車が約60%、30 (km/h) 以上の車が約20%ということが分かる。

平常時における自由走行速度が制限速度付近であるとすると、冠水時は大部分の車に大幅な速度減少が起きており、浸水深が高くなるにつれて速度減少が大きくなっていると言える。

(2) 道路冠水時の最小車間距離

a) 冠水時観測データによる最小車間距離

浸水高の最小車間距離は10～15 (m) でほぼ速度に対して一定であり、浸水低の場合は速度上昇に従って車間も大きくなっていくことが分かる。

平常時に比べ短い車間距離を保っている理由として、制動距離や空走距離の減少が考えられる。制動距離や空走距離は、減速する際のブレーキ力の増加によって減少する。冠水時ではブレーキ力に加え動水圧も減速に負担するため、短い車間距離でも停車できるようになったと考えられる。

b) 理論式による最小車間距離

ここで、今回得た観測データとの比較対象として、物理的に意味を持つ理論式を変換し、路面湿潤時の最小車間距離を考える。最小車間距離について、制動距離と空走距離の和から(式1)のような理論式³⁾が導かれる。

$$Sm_1 = l + 0.278vt + 0.00394v^2/f \quad \dots (1)$$

ただし、 Sm_1 : 理論式による最小車間距離(m)、 l : 停車時の車間距離(m)、 v : 走行速度(km/hour)、 t : ドライバー反応速度(s)、 f : 路面とタイヤの摩擦係数()

また、田中らの研究⁴⁾において、平常時の最小車間距離の観測データから導かれた観測式として(式2)のような式を提案している。

$$Sm_2 = l + 0.14v + 0.022v^2 \quad \dots (2)$$

ただし、 Sm_2 : 観測式による最小車間距離(m)、 l : 停車時の車間距離(m)、 v : 走行速度(km/hour)

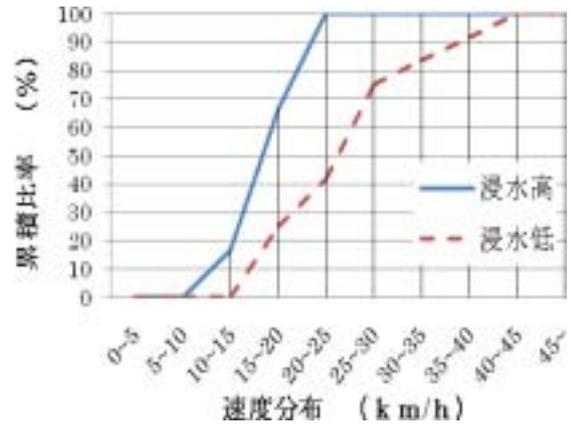


図 - 5 . 自由走行速度の累積比率分布図

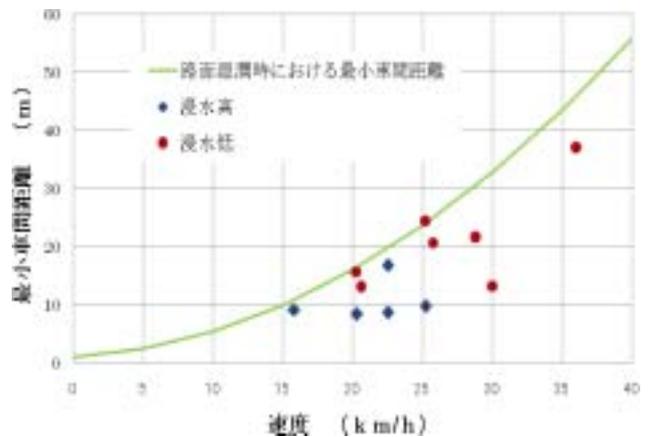


図 - 6 . 最小車間距離の観測結果

表 - 2 . 乾湿時の摩擦係数

	物理的摩擦係数	安全率 K_f	実用摩擦係数
乾燥時	0.7	4	0.18
湿潤時	0.5		0.13

観測式(式2)の方が実質的な最小車間距離であるとすれば、これら二つの式の係数を比較すると、実際のドライバーの反応速度 t は0.5(秒)であり、路面とタイヤの摩擦係数 f は0.18の値を取ることが分かる。

ここで摩擦係数について、一般に乾燥したアスファルトとタイヤの摩擦係数は0.7であるといわれており⁵⁾、観測式の0.18との間には大きな開きがある。本研究では、ドライバーは実際に働く物理的な摩擦力をすべて使って減速するわけではなく、ある程度の安全率を取った摩擦力を利用して減速すると仮定する。そこで、その安全率を $K_f = 0.7/0.18 = 4$ とする。さらに、湿

潤時のアスファルトとタイヤの摩擦係数0.5も同様の安全率を用いて変化させる。こうして新たに定義した摩擦係数を一般に言われている物理的な摩擦係数に対し、ここでは実用摩擦係数と呼び(表-2)に示す。

(式1)の理論式の摩擦係数 f に湿潤時の実用摩擦係数を代入した値を単に路面が濡れている状態の最小車間距離として(式3)のように変換し、冠水時の最小車間距離のデータとの比較対象とする。

$$Sm_3 = l + 0.278v + 0.00394v^2 / 0.13 \dots (3)$$

ただし、 Sm_3 : 湿潤時における最小車間距離(m)、 l : 停車時の車間距離(m)、 v : 走行速度(km/hour)

路面湿潤時における最小車間距離の式(式3)と観測データを(図-6)により比較すると、湿潤時における最小車間距離を上限に、浸水低、浸水高と順に最小車間距離が短くなっていることが分かる。特に、浸水低の観測データはこの曲線とほぼ一致するが、わずかに下をなぞるようにそのほとんどが分布している。そこで、この湿潤時における最小車間距離の式は浸水深0 (cm)の境界条件として妥当な結果を導いていると言える。

5. 結論と今後の課題

第二章に述べた方法で報道資料を測定することで、冠水時の自由走行速度・最小車間距離からなる交通特性を測定することができた。本研究では、道路冠水時における交通特性の定量的な分析までしか至らなかったが、今までにはない特殊な状況下における貴重なデータを収集できたことは大きな成果であると言える。これらのデータが今後道路冠水時の交通特性のモデル化の足掛かりとなると考えられる。

ところで、今後も精度的・数量的に満足したデータが得られる保証はない。そこで冠水時の交通特性をモデル化する上で物理的アプローチを行う可能性がある。物理的アプローチとは、車が冠水した道路の上を走るときに生じる動圧を考え、交通特性を議論する方法である。

最小車間距離に関しては第四章第二節において、観測結果と物理的に意味を持った最小車間距離の式との比較を行った。すると、冠水状態についても制動距離と空走距離の両項になんらかの流体抵抗の補正値を加えることでモデル化することができる可能性を示唆することができた。

自由走行速度に関しては、浸水深の増加に従って大幅に減少する理由として以下の三つの理由が考えられる。

ハイドロプレーニング現象につながる摩擦力の低下に対応するため。

アクセルの踏み込み具合が習慣化されており、平常時で50~60 (km/h)の速度が出せる踏み込みで走っているつもりでも、冠水時は水圧の影響で10~30 (km/h)の速度しか出せていないため。

冠水によって足下の道路状態が見えなくなるという心理的不安感に対応するため。

これらについても物理的アプローチを用いることでモデル化することができるのかもしれない。

この方法によって求めた結果の検証は、本研究のデータ分析の結果を用いれば可能であると考えられる。最終的にはこの物理的アプローチによって、冠水時の交通特性のモデル化を行い、大雨洪水時における自動車による避難計画の可能性を評価したい。

6. 謝辞

本研究は平成20年度文部科学省科学研究費補助金(課題番号:19360233)を得て実施したことを記して謝意を表します。

参考資料

- 1) 佐藤馨一ら：非線形交通流モデルに関する研究、土木学会論文報告集、第258号、p85-95
- 2) 阿江章ら：最近の高速道路の走行実態について、高速道路と自動車、第36巻、第10号
- 3) 川上省吾 松井寛：交通工学、第2版、森北出版、2002
- 4) 田中健一、渡辺健次、重光畔：自動車交通における車頭間隔の観測結果について、運輸技術資料
- 5) 江守一郎：新版自動車事故工学、技術書院、1993