

[寄稿]

濡れた路面走行時のトラックの“水しぶき”低減による後続車両の視認性改善

<>

濡れた路面を走るトラックの“水しぶき”は「どのような考え方で測定 & 評価されるのか？」

山中 旭(元・三菱自動車), 関根 康史(福山大学)

1. はじめに

雨の日などで、路面に水が溜まった道路で乗用車を運転する際に、前を走行する自動車が跳ね上げた水しぶきで、前方が見づらくなってしまうような経験をする人は、今日でも少なくない。日本よりも、ひと足早くモータリゼーションが進んでいた米国では、1970年にNHTSA(米国運輸省・道路交通安全局)が、「トラックが濡れた路面を走行する際に跳ね上げた水しぶきが、後続車および追越車の運転視界を妨害して、これらの車両の安全性を損なう」ことに対する「後続車や追越し車の安全が損なわれないこと」ための対策を要求したFMVSSプロポーサル(米国自動車安全基準案)「スプレイプロテクタ(docket 70-21)」を発表している。

このFMVSSプロポーサルの発表によって、米国へトラックを輸出している国内のトラックメーカーは、対策を考えなければならなくなったが、当時はトラックの後方を走行している運転者の運転視界の妨害度を直接計測 & 評価する方法が確立されていなかった。そこで、トラックが巻き上げる水しぶきの量(図1)や、後続車の視界の阻害度合い、ワイパーの速度といった、トラック後方の運転視界の妨害度を定量的に測定する「スプレイ計測評価車」を製作、運転視界の妨害度に係わる複数の計測項目を計測、これらを総合的にみることによって、トラックが跳ね上げた水しぶきの量(スプレイ量)の乗用車の運転視界への影響の定量的な評価を行った⁽¹⁾⁻⁽³⁾。



図1 濡れた路面を走行するトラックと跳ね上げる水しぶき(トラックスプレイ)

2. 「スプレー計測評価車」について

「スプレー計測評価車」を図2に示す。この車の車両前方には、スプレー量を測定するための評価板が取り付けられており、この評価板によってスプレー量を計測する。なお、スプレーによる運転視界への妨害度を計測する場所としては、フロントウィンドウが最も好ましいが、フロントウィンドウに付着するスプレー量は、エンジンフード、フロントウィンドウの曲率、および傾斜角等、車両の形状によって異なる。このため、「スプレー計測評価車」では、これらの影響を受けない車両前方1mの位置にスプレー量を測定するための評価板が取り付けられている。評価板の高さは乗用車の標準的なドライバーの眼の高さ(Eye-Level)である1150mmの高さに、評価板の中心は車両センターラインと合致させた。評価板の面積は、排気量1500ccクラスの乗用車や軽乗用車のフロントウィンドウの面積を参考に、0.2m²とした。また、評価板にはスプレーを計測するためのアルミサッシュによるフレームを取り付けた。このフレームは、評価板のガラス前面から10mm前方にアングル材を出し、フレーム下部の雨どいでスプレーを集め、その重量を計測できるようにしたものである。

さらに、「スプレー計測評価車」の評価板には、前方を走行するトラックとの車間距離を一定にするための距離計の役目も担わせた。すなわち、トラック後方の指定車間距離に評価板を装着した計測車を置き、この計測車の運転席から見て、評価板およびフロントウィンドウそれぞれについて、トラックの最後部の左右端が見える位置にテープでマーク、計測車は、このマークが重なるように走行して、トラックとの車間距離を一定に保つようにした。

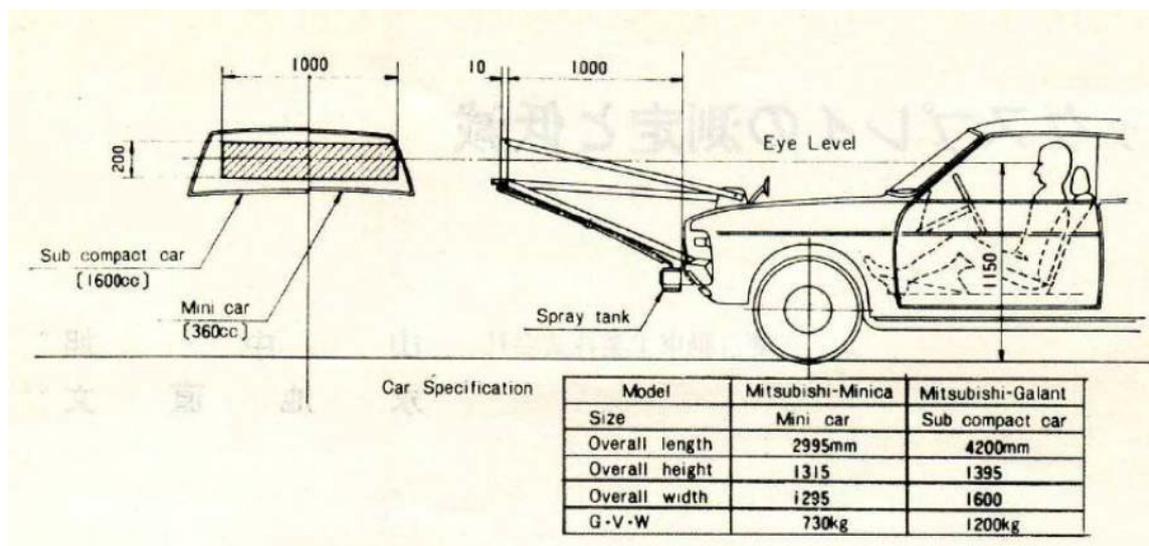


図2 「スプレー計測評価車」の概要

スプレー量を測定するための評価板が装備された改造車(図は三菱ギャランの改造車)

3. 「スプレー計測評価車」を用いたトラックスプレーによる視野妨害度の評価試験

(1) 評価試験の内容

・テストコースについて

雨上がりの路面を走行した際のスプレーを想定して、路面上から跳ね上がるスプレーだけに限定した試験を行うため、新規にテストコースを設計した。新設したテストコースは、長さ100m、幅7mとし、直径10mmのビニルチューブおよびテープで全周を囲っている。このテストコースに貯められる水容

量は約3000ℓ(設計上の値)で、試験を実施する際には、予め、毎分200 ℓの散水容量を有するスプリンクラーで散水を行い、任意の試験条件を整えられるようにした(図3、図7)。

・評価試験に使用したトラックについて

三菱ふそう中型トラックT650型(車両総重量8t、積載量4t)の標準荷台タイプの車両、およびバンボディータイプの車両の2台を試験車両として使用した(図3)。なお、トラックスプレイによる視野妨害度の対策の効果をみるため、図4に示した12種類の条件で試験を実施した。



協力:三菱自動車工業(株)乗用車技術センター 三田村楽三氏

供試車諸元

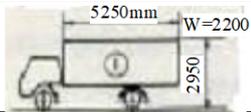
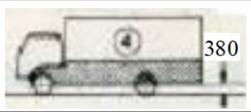
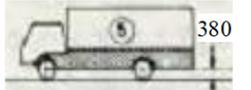
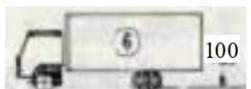
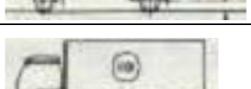
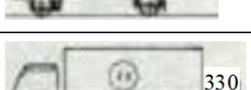
通称名・型式・荷箱種別	三菱ふそう T650E バン		
車種	中型トラック		
エンジン最高出力/回転数	120PS/3,200rpm	ホイールベース	4,200mm
全長	7,515mm	最大積載量	4,000kg
全幅	2,200mm	車両総重量	8000kg
全高	2,950mm		

図3 テストコースを走行する試験車、三菱T650型中型トラック(写真は標準バンボディートラック)

・評価試験の方法について

上記試験車(トラック)の後方に、指定の車間距離で同一速度を保った状態で、「スプレイ計測評価車」を追従させるようにして、長さ100mのスプレイ試験専用テストコースを走行、このテストコースを通過後に測定車の評価板に付着したスプレイの重量計測を行った。

本試験において、スプレイの量はテストコースの区間100mを走行中に面積0.2m²の評価板に付着した水量で表示することとした(例えば、評価板にスプレイが2g付着した場合には「2.0g/0.2m²」と表示)。なお、今回の試験での各条件でのスプレイ量を図4に示す。また、本試験でスプレイ量の計測区間を100mとしたのは、計測区間をこの程度の長さにした方がスプレイの量を安定的に測定できるからである。

Test No.	試験車の仕様		採取スプレイ量 (車間距離10m)		標準バンホディーを100とした場合のスプレイ量の比	
			km/h V=80	km/h V=70	km/h V=80	km/h V=70
1	標準バンホディー		g/0.2m ² 40.0	g/0.2m ² 18.8	% 100	% 100
2	標準バンホディー スペアタイヤ付		32.0	14.5	80	77
3	プロトタイプ・A ホディー包囲 地上間隙40mm		4.0	1.0	10	5
4	プロトタイプ・B ホディー包囲 地上間隙380mm		13.2	8.5	33	45
5	プロトタイプ・C ホディー包囲 地上間隙380mm		17.0	10.5	43	56
6	プロトタイプ・D タイヤハウス包囲		9.3	6.5	23	35
7	プロトタイプ・E 試作リヤフェンダー リヤフラップ付		19.4	11.0	49	59
8	プロトタイプ・F 試作リヤフェンダー リヤフラップ延長		22.9	12.5	57	69
9	プロトタイプ・G 試作リヤフェンダー		18.5	—	46	—
10	プロトタイプ・H インナフラップ付 タイヤハウス		20.0	—	50	—
11	プロトタイプ・I フラップレス 試作リヤフェンダー		33.2	—	83	—
12	標準荷台		17.0	11.0	43	59

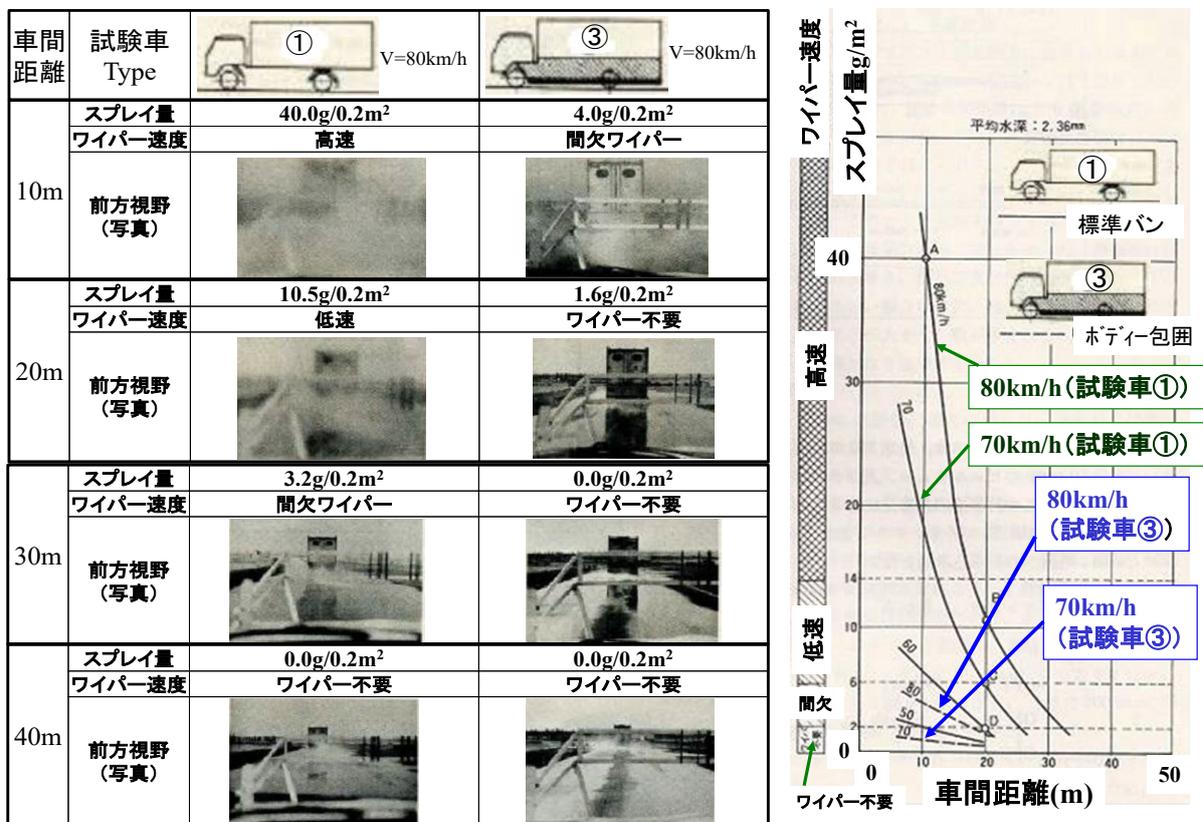
* 平均水深: 2.36mm, 計測区間: 100m

図4 12種類の試験条件(対策の有無や対策の種類)と試験結果(スプレイ量)

(2) 車間距離とスプレイの量の関係

今回の評価試験で最も多いスプレイ量となったのは、図4中のTEST No.1(バンボディータイプのトラック)で、80km/h走行時、車間距離10mでスプレイ量は40.0g/0.2m²であったが、車間距離を30mに伸ばした場合、3.2g/0.2m²と1/10以下に低減した(図5)。荷箱の形状が異なるトラック(図4.4中のTEST No.12、標準荷台タイプのトラック)についても、80km/h走行時、車間距離10mでスプレイ量は17.0g/0.2m²であったが、車間距離を30mの場合、1.0g/0.2m²と、これも1/10以下に低減した。

図4中のTEST No.1とTEST No.3の条件での、車間距離とスプレイ量の関係を図5に示す。TEST No.3は、バンボディータイプのトラックの側面に、泥水跳ね上げを防ぐ「スカート+ゴムフラップ」を装着した車両である。「スカート+ゴムフラップ」を装着することにより、スプレイ量はTEST No.1の1/10近くまで低減した。



平均水深:2.36mm, 計測区間:100m(ワイパーはOFF, スプレイコレクタなし)

図5 TEST No.1とNo.3の車間距離とスプレイ量・視界妨害度の関係

(3) スプレイ量とこれに対するワイパー必要度合いの関係

TEST No.1のバンボディータイプのトラックを80km/hで走行させ、下記車間距離で計測車を追従させて視界妨害度を調査した(図5)。

- ① 先行車(トラック)との車間距離が40mの時、スプレイはフロントウィンドシールドに付着せず、ワイパーを全く必要としなかった。
- ② 車間距離を30mに縮めると、スプレイの付着が目立ち始める。先行車の尾灯は、はっきり識別できるが、ライセンスプレートはその取り付け位置は確認できるものの、数

字はスプレイのため不鮮明で読みづらい。この時のスプレイ量は $3.2\text{g}/0.2\text{m}^2$ で、測定車は間欠ワイパーを使用したくなる量である。

- ③ 車間距離を20mまで詰めると、スプレイ量は増加、先行車の尾灯は点灯すれば確認できるが、鮮明ではない。測定車のフロントウィンドシールドには、多くのスプレイが付着、視界確保のためにはワイパーの使用が必要。この時のスプレイ量は $10.5\text{g}/0.2\text{m}^2$ である。
- ④ 車間距離を10mまで縮めた場合、豪雨の中を走行しているのと同じ状況となった。先行車の尾灯は確認できず、車体後部がぼんやり見えるだけとなった。この条件下でワイパーを使用しない走行は危険であり、安全に走行するためには、ハイスピードでのワイパーの使用が必要となる。この時のスプレイ量は $40.0\text{g}/0.2\text{m}^2$ である。

以上のように、スプレイ量とワイパーの必要の度合い(ワイパーのスピード)と先行車後部の識別度合いの対応を試みた。「スプレイ計測評価車」のワイパーは、「間欠ワイパー(4sec間隔を1回として15cpm)」、「通常(45cpm)」、「ハイスピード(70cpm)」の3種類の速度を選ぶことができる仕様であった。そこで、スプレイ量とこれに対するワイパー必要度合いの関係を次のようにまとめた。

- ① スプレイ量 $0.0\text{--}2.0\text{g}/0.2\text{m}^2$: ワイパー不要
- ② スプレイ量 $2.0\text{--}6.0\text{g}/0.2\text{m}^2$: 間欠ワイパーが必要
- ③ スプレイ量 $6.0\text{--}14.0\text{g}/0.2\text{m}^2$: 通常速度でのワイパー使用が必要
- ④ スプレイ量 $14.0\text{g超}/0.2\text{m}^2$: ハイスピードでのワイパー使用が必要

(4) 車速とスプレイ量の関係

上述した車間距離とスプレイの関係で明らかなように、車間距離が長くなる程スプレイ量は急速に下がる(図4)。図5中の12種類の試験条件の有意差を求めるため、車間距離10mで各条件における速度によるスプレイ量の変化を求めた(図6)。車間距離10mは車速40km/hでは安全な距離であるが、車速が高速になるとテストコースの濡れも加わり、大変危険な車間距離となる。

80km/hで最大のスプレイ量を発生するTEST No.1のスプレイ量と、これ以外のスプレイ量の比較を図4に示す。TEST No.1のスプレイ量を100とした場合、他の条件でのスプレイ量は次の通り。

- ① TEST No.3(バンボディータイプ・トラック, スカート+ゴムフラップ): 10
- ② TEST No.4(バンボディータイプ・トラック, スカート): 33
- ③ TEST No.6(バンボディータイプ・トラック, リヤタイヤ全周包囲): 23
- ④ TEST No.12(標準荷台タイプ・トラック): 43

TEST No.12については、速度を70km/hに落とした場合、そのスプレイ量は、80km/h時の43から27.5に低減した。

なお、今回の試験では、TEST No.3のようにバンボディータイプのトラックに、スカート(最低地上高40mmとなるように装着)とゴムフラップを装着することで、スプレイ量を大幅に低減したが、これは現実的な対策としては難しい。なぜなら、このような対策をすると、背離角が極端に小さくなり、日常の走行が出来なくなるからである。したがって、TEST No.6のような対策が、現実的と考えられる。

TEST No.2のように、リヤオーバーハングのフレーム下部に吊るしたスペアタイヤは、スプレイ量の低減に役立つ。このTEST No.2のトラックが80km/hで走行時のスプレイ量は、(TEST No.1のトラックの80km/hで車間距離10mでのスプレイ量を100とした場合)車間距離10mの場合で80、車間距離

20mの場合で60となった。

また、TEST No.12のように、標準荷台タイプのトラックでは、(TEST No.1のトラックの80km/hで車間距離10mでのスプレイ量を100とした場合)車間距離10mの場合で43、車間距離20mの場合で24となった。このように、後端の高さが低い荷台は、車間距離が長くなるとスプレイ量が急激に少なくなる。言い換えれば、荷台後端の高さを低くして、車両の後流の巻上げを少なくすれば、スプレイを低減できる。

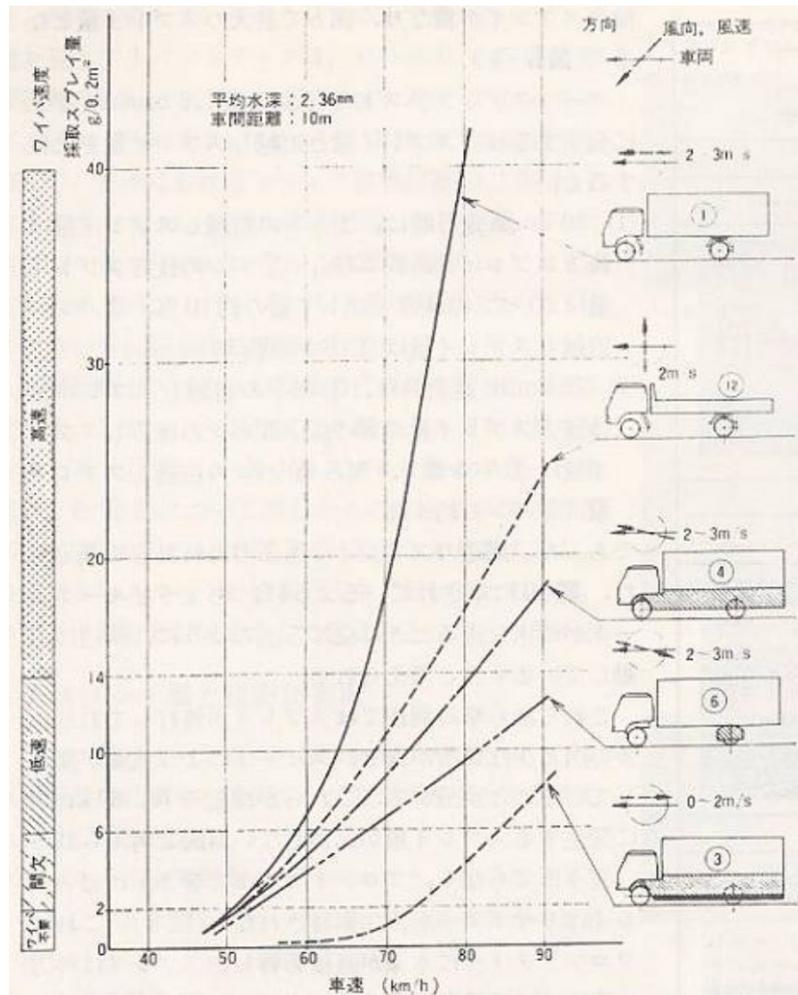


図6 TESTNo.1, 3, 4, 5, 12の各トラックと車速とスプレイ量の関係

(5) 追越し時のスプレイ量

平均的な道路の1車線の幅を3.5mと考え、トラック車幅の中心位置から計測車の車幅の中心までを3.5mとした。前後方向の距離については、トラック後面から測定板までを1mとして、追越し時のスプレイ計測の位置を設定した。この位置は、前輪のスプレイと後輪のスプレイが重なり、側方で最大のスプレイ量となる位置である(図7, 図8)。

この時のスプレイ量と平均水深1.6mmの濡れた路面で走行するトラックの後方に発生するスプレイ量を比較するため、TEST No.1のトラックとTEST No.3のトラックを用いて走行試験を実施した。なお、試験結果は次のようになった。

- ① TEST No.1のトラックが平均水深1.6mmの濡れた路面を80km/hで走行した際にその後方で発生するスプレイ量を100とした場合、このトラックの追越し時のスプレイ量は50.
- ② TEST No.3のトラックが平均水深1.6mmの濡れた路面を80km/hで走行した際にその後方で発生するスプレイ量は、TEST No.1のトラックを100とした場合、TEST No.3のトラックのスプレイ量は10であり、追越し時についても、TEST No.1のトラックの追越し時スプレイ量を100とした場合、TEST No.3のトラックのスプレイ量は10.
- ③ TEST No.1のトラックが平均水深1.6mmの濡れた路面を70km/hで走行した際にその後方で発生するスプレイ量を100とした場合、このトラックの追越し時のスプレイ量は85.
- ⑤ TEST No.3のトラックが平均水深1.6mmの濡れた路面を70km/hで走行した際にその後方で発生するスプレイ量は、TEST No.1のトラックを100とした場合、TEST No.3のトラックのスプレイ量は3.5であり、追越し時についても、TEST No.1のトラックの追越し時スプレイ量を100とした場合、TEST No.3のトラックのスプレイ量は4.0.

また、車両周辺のスプレイは試験車の周囲に取り付けたタフトの濡れ具合で測定した。図9に示したように、モーターボートが水上を航行する際のように、周辺に波が立っているものと考えられる。

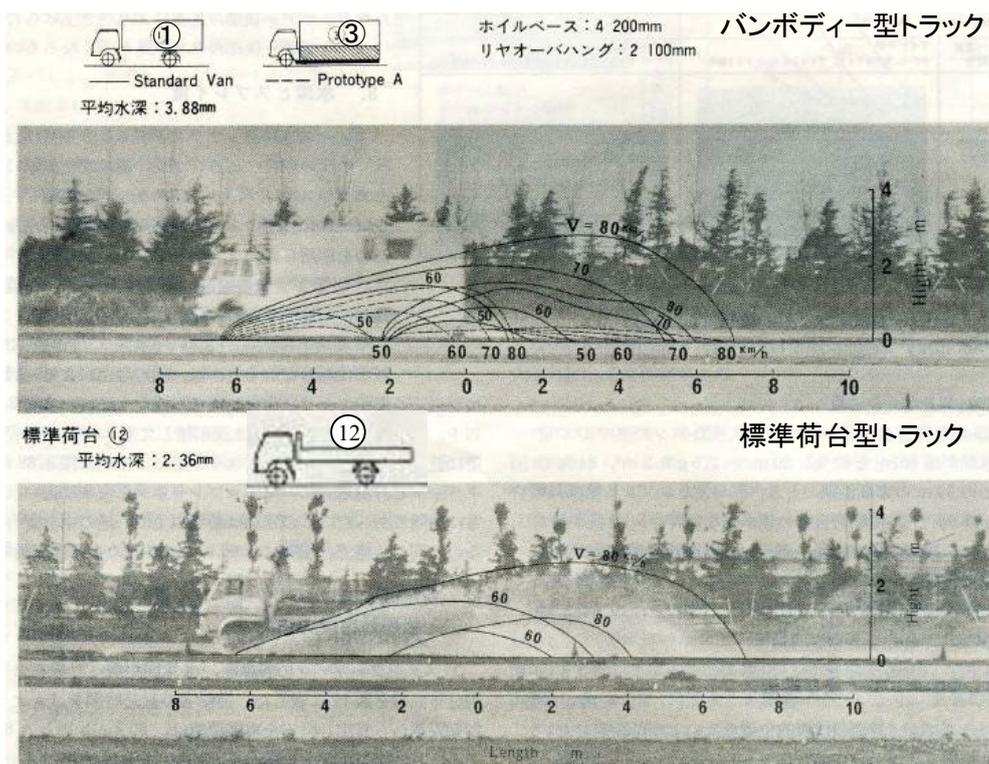


図7 テストコース走行時のスプレイの飛び散り方
(バンボディー型トラックと標準荷台型トラックの比較)

すなわち、濡れた路面を走行する試験車の周辺では、路上の水が波打っているが、これが多い場所と少ない場所があり、更に試験車が通行する際には、各々のタイヤは、それぞれが個別に水を押し除ける。濡れた路面を走行する際に発生する波は、複雑な力によって発生するので、スプレイ量は車速に比例しないと考えられる。

フロントタイヤで巻き上げるスプレィの飛び散り方は、リヤボディーの形状に影響されない(図7)。これは、フロントタイヤに水深が直接影響を及ぼすため、スプレィは外方へ向かって広範囲に高く跳ね上げられるためと考えられる。リヤタイヤは、フロントタイヤによってある程度の量の水が跳ね除けられた後の水深が浅い場所を走行するので、リヤタイヤによるスプレィはリヤボディーの下部に当たり、上方へはあまり跳ね上がらない。

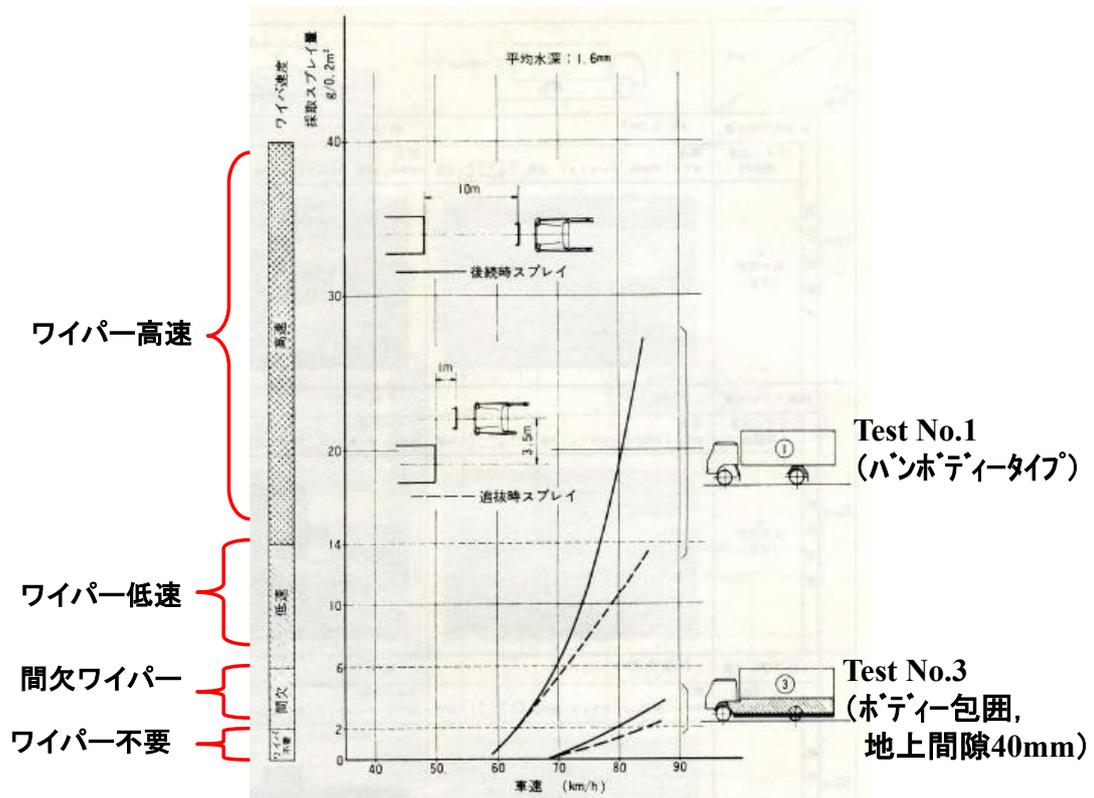
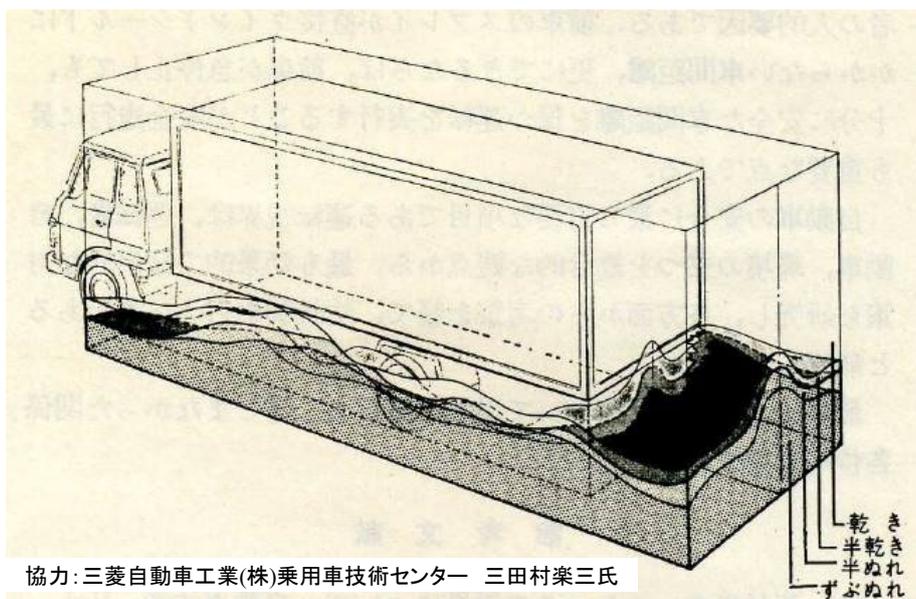


図8 追従および追越し時の車速とスプレィ量の関係



協力:三菱自動車工業(株)乗用車技術センター 三田村楽三氏

図9 車両周囲のスプレィ飛散状況

(6) 水深とスプレイ量の関係

TEST No.1のトラックとTEST No.3のトラックについて、水深とスプレイ量の関係を知るための走行試験を実施した(図10)。水深2.5mm以下では、水深が深くなればスプレイ量もこれに応じて増加するが、水深2.5mm以上、車速70km/h以上では、水深が増した際のスプレイの増加率は低くなる。なお、水深3.9mmでは、試験車、計測車共にハイドロプレーニング現象に近い状態となり、非常に危険となったので、これ以上の水深での試験は実施しなかった。

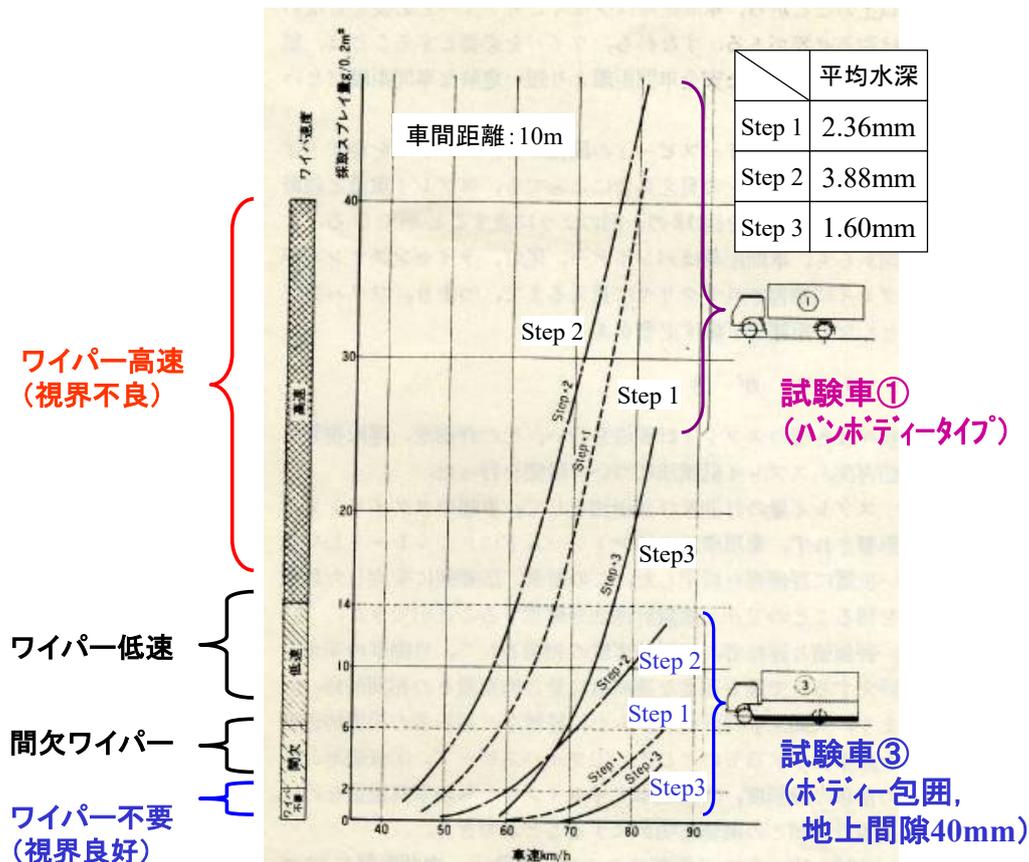


図10 水深と車速、スプレイ量の関係

(7) 車間距離とスプレイ量と視界妨害度の関係

TEST No.1のトラックの車速と車間距離とスプレイ量の関係を探った(図11)。運転者の反応時間を1秒と考え、制動距離から算出した安全車間距離で追従するならば、先行車両が巻き上げるスプレイで視界が妨害されることはない。なお、図11に示した「安全車間距離」や「ワイパー不要ゾーン」は、平均水深2.36mmでの走行試験から求めたものである。平均水深2.36mmは、集中豪雨直後以上の水深であり、スプレイ量を測定する条件としては、最も厳しいものである。この条件下での走行試験での「安全車間距離」や「ワイパー不要ゾーン」は、実際の走行においても、かなり信頼性の高いものと考えられる。図11から次のことが言える。

- ① 米国での実車間距離(高速道路での平均車間距離)は、車速80km/hの場合、31mとされるが、これだけの長さの車間距離があれば、スプレイ量は2.0g/m²以下となるので、ワイパーを作動させる必要はない。

- ② しかしながら、日本での実車間距離は、車速80km/hの場合21mと短いため、ワイパーを作動させる必要が生じる。
- ③ 車速70km/hの場合、先行車との車間距離を30mとした場合、ワイパーを作動させる必要はないが、車間距離を20mとした場合には、ワイパーを作動させる(間欠ワイパー)必要が生じる。
- ④ TEST No.3のトラックについては、TEST No.1のトラック程、車間距離によってスプレイ量が大きく低下することは無い。これは、TEST No.3のトラックが側面に装着した、泥水跳ね上げ防止装置である「スカート+ゴムフラップ」が地表を這うようになっているためである(図4, 図5, 図7)。なお、TEST No.3のトラックのスプレイ低減率は、車間距離が近づく程、効果がある。

以上のことから、車間距離は少なくともワイパーを必要としない分だけ取っておく必要がある。すなわち、ワイパーを必要とすることは、制動距離から算出した安全車間距離より短い危険な車間距離であると言える。

以上の通り、「スプレイ計測評価車」を用いて、濡れた路面を走るトラックの水しぶきを計測&評価を行うことによって、トラックスプレイの乗用車の運転視界への影響の定量的な評価を行い、泥水跳ね上げ防止装置「スカート+ゴムフラップ」が最も効果があることを明らかにした。

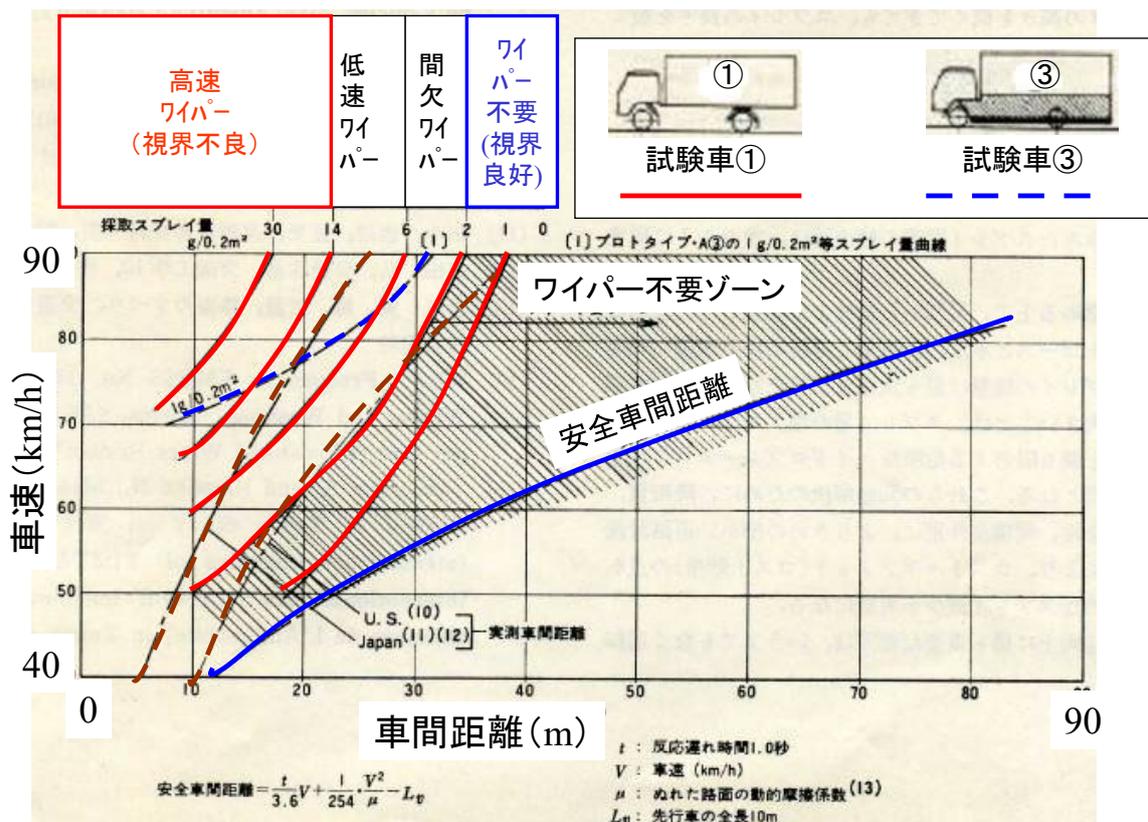


図11 スプレイ量の等高線図および視野鮮明度

参考文献

- (1) Yamanaka, A., Nagaike, N., Measurements and Control of Truck Spray on Wet Roads, 1976, 16th FISITA in Tokyo (1976).
- (2) 山中旭, 永池直文, ぬれた路面におけるトラックスプレイの測定と低減, 三菱重工技報Vol.13, No3, 1976.5 (1976).
- (3) 山中旭, 衝突エネルギー吸収システムの研究開発, 運転者の視認性改善と衝突安全性の向上による大型自動車の総合的な安全性の研究, 早稲田大学博士論文, 乙第2404号(2013), pp.84-98.

日本機械学会技術と社会部門ニュースレター: <http://www.jsme.or.jp/tsd/news/index.html>

日本機械学会

技術と社会部門ニュースレターNo.48

(C)著作権:2023 一般社団法人日本機械学会 技術と社会部門