

高速道路走行時の降雨による認知的影響 に関する研究

矢野 伸裕¹・森 健二²・横関 俊也³

¹正会員 科学警察研究所 交通科学第一研究室 (〒277-0882 千葉県柏市柏の葉6-3-1)
E-mail: yano@nrips.go.jp

²正会員 科学警察研究所 交通科学第一研究室 (〒277-0882 千葉県柏市柏の葉6-3-1)
E-mail: mori@nrips.go.jp

³正会員 科学警察研究所 交通科学第一研究室 (〒277-0882 千葉県柏市柏の葉6-3-1)
E-mail: yokozeki@nrips.go.jp

高速道路の雨天時の臨時速度規制基準のあり方に関する研究の一環として、降雨による視認性など認知・反応面への影響に関する走行実験を実施し、2種の実験課題からデータを得た。まず、標識読み取り課題では、前方にある案内標識の内容がどのくらい離れた場所から読み取れたかを計測した。その結果、降雨時には同一対象の認知距離が短縮した。また、追従走行課題では、先行車との車間距離をできるだけ一定に保って走行する課題において、先行車の急な速度変化(車間距離の変化)にどのくらい速く反応できるかを計測した。その結果、降雨時には先行車の急な速度変化に対する反応時間が増大した。以上の結果から、降雨による視認性の低下によって空間的な解像度の低下や反応の遅れなどの認知的影響が生じることが示唆された。

Key Words : driving on a freeway, rainfall, visibility, spatial resolution

1. 背景と目的

高速道路走行において、一般に、「雨の日は見づらく、運転しにくい」という感覚を、多かれ少なかれ運転者は持っている。高速道路における降雨と実勢速度との関係を調べた研究¹⁾では、どの交通量レベルにおいても雨量が増えると実勢速度が低下する傾向がみられたが、これはそのような感覚を反映した運転者の行動と捉えることができる。もちろん高速走行時には雨は事故を引き起こす大きな危険因子でもある。森²⁾は交通事故統計に基づいて雨天時の高速自動車国道での事故を分析し、雨天時の事故の特徴として、車両単独事故の割合が大きい、線形の悪い場所で発生する事故の割合が大きい、高速度領域の事故の割合が大きい、運転操作ミスが主たる原因となる事故が多い、などのことを見出し、雨天でなければ事故に至らなかった不安全行動や運転操作ミスが雨天では事故に直結する可能性を指摘している。また、雨量と事故や安全速度との関係を調べた横関ら³⁾は、降雨が主要因である事故は少雨かつ低速では発生しておらず、雨量の増加とともに事故時の速度が低下することを指摘し、雨量の増加に応じた安全な速度の目安を示した。このような降雨と事故の関係は、少なくともその一部

は降雨時に視認性が低下することに起因すると考えられる。しかし、降雨時の高速道路走行の場面で実際に視認性がどの程度低下するか、またその低下は安全性に対してどのような形で影響するか、についての実験的データは少ない。これを明らかにするデータは、降雨時の高速道路走行における安全性確保のための臨時速度規制基準の検討にも資すると思われる。

本研究では、高速道路を実際に走行する状態で、視認性や反応時間を計測する実験課題を実施し、降雨による運転行動への認知的影響を検討した。

2. 方法

(1) 実験場所

走行実験は、常磐道および北関東自動車道において昼間に実施された。実験課題が実行されたのは排水性舗装の箇所であった。

(2) 使用機器等

本実験では、実験参加者が運転する実験車両(ホンダ・ストリーム)と先行車両(トヨタ・マーク ブリット、追従走行課題のみ)を使用した。どちらも速度やア

クセル踏量，走行距離など種々の車両挙動データを収集・記録できる計測システムを搭載しており，時刻を同期させた上でデータをリアルタイムで記録した．加えて，実験車両には前方及び後方の道路状況を撮影するためのCCDカメラが搭載されており，これらの映像データも同時に記録した．また，追従走行課題実施時は，実験車両と先行車両の車間距離をレーザー距離計（MDL社製 LaserAce IM150HR）によってリアルタイムで測定・記録した．

(3) 課題の概要と分析方法

実験参加者は，降雨日と非降雨日（晴または曇）に，以下に記述する2つの課題を実施した．

標識読み取り課題

走行中，前方にある案内標識の内容を読み取って報告する課題である．実験参加者は読み取り対象となる案内標識の約1km手前で手元スイッチを渡され，「やがて2段ある標識が見えてきますので，下の段に書いてある

までの距離を読み上げて下さい．読み上げ終わると同時にスイッチを押して下さい」と教示された．例えば図-1の場合であれば，実験参加者は守谷までの距離を「25キロ」と読み上げるとともにスイッチを押す．スイッチ押しは読み上げタイミングを記録するためであった．試行は5つの案内標識に対して計5回行われ，各試行の回答内容と読み上げ終わったタイミングが記録された．実験後，記録された読み上げタイミングと，常時収集している車両挙動データ及び前方カメラ映像の標識通過タイミングから，標識からどのくらい手前の地点で読み上げたかが算出された．この地点と標識までの距離を認知距離とした．この課題では，同じ案内標識に対して，降雨条件と非降雨条件の2つの認知距離のデータが得られることになる．回答の誤りやスイッチの操作ミス等があった場合，降雨条件で試行実施時に雨量が非常に少なかった（ワイパー不使用）場合は，同じ案内標識に対する降雨／非降雨両条件のデータとも結果の集計から除外した．また，読み取り課題の対象となった案内標識はオーバーヘッド片持ち式もしくは添架式であったが，実験車の前に大型車が走行しており標識がその陰になった場合も同様に同じ案内標識に対する両条件のデータとも除外した．なお，課題実施時は，実験参加者は第一車線を走行する



図-1 標識読み取り課題で読み取り対象となった案内標識の一例

よう指示されたが，速度の指定は特になかった．

追従走行課題

この課題は，実験参加者が運転する実験車と先行車の2台で行われた．手順は以下の通りである．

先行車は実験車と同じ車線の前方を一定速度（交通状況に応じて80～90km/h）で走行し，実験参加者は先行車との車間距離が55～60mで保たれるように調整する（実験監督者がリアルタイムで計測される車間距離に基づいて「もう少し近づいて」「もう少し離れて」などと逐一指示する．）．

距離の調整が完了した後，実験参加者は「先行車はあるタイミングで加速したり減速したりしますが，この車間距離（55～60m）を保つためにすぐに対応して車間距離を調整して下さい．」と教示され，課題の試行が開始される．

試行が始まって15～30秒後に，一定速度で走行していた先行車が急に加速もしくは減速する．加速条件の場合，先行車は約5秒間加速したところで加速を止め，そのまま30秒間定速で走行する．また減速条件の場合，先行車はアクセルを離した状態（ブレーキ灯は点かない）で約5秒間，80km/h以下になるまで減速したところで減速を止め，そのまま30秒間定速で走行する．実験参加者は，指示された車間距離を保つように，この先行車の速度変化にできるだけすぐに対応して自らも速度を変化させる．

先行車の30秒間の定速走行の後，試行終了となる．

試行開始から先行車の急な速度変化までの時間（15秒，20秒，30秒）と速度変化方向（加速，減速）の組み合わせ $3 \times 2 = 6$ パターンが1回ずつランダムな順序で実施された．ただし，本研究では減速条件のみを分析対象とした．実験後，先行車と実験車の車両挙動データから，先行車の減速動作（アクセル開度が2%以下になった時点）から実験車の減速動作（アクセル開度が2%以下になった時点）までの経過時間を算出してアクセル反応時間とした．なお，先行車の減速動作の前に実験参加者がアクセルを弛めるなどして実験車のアクセル開度がすでに2%以下であった場合や減速中であった場合，試行終了まで実験車のアクセル開度が2%以下にならなかった場合，不自然なアクセル操作がなされた場合，降雨条件で試行実施時に雨量が非常に少なかった（ワイパー不使用）場合など，分析に不適切と判断した試行は結果の集計から除外した．

(4) 実験参加者

実験参加者は23～58歳の10名（男6，女4）．いずれも第一種中型自動車免許を保有し，免許保有歴は2～37年，月に1～2日またはそれ以上の頻度で運転を行っていた．実験参加者は，眼鏡の着用等については普段の運転時の

通りに行った。なお、実験開始前の簡易視力測定では0.7以上であった。また、4名は降雨条件を先に、6名は非降雨条件を先に実施した。

(5) 実験の手順

まず、実験参加者は乗車前に実験の概要について説明を受け、その後守谷SAまで移動した。そこで標識読み取り課題のやり方について教示され、内容が理解できたら実験参加者の運転で美野里PAまで標識読み取り課題を実施しながら走行した。美野里PAでは追従走行課題のやり方について教示され、内容が理解できたら水戸南ICまで追従走行課題を実施しながら走行した。水戸南ICで引き返し、友部SAまで追従走行課題を実施した。その後、再び標識読み取り課題を実施しながら守谷SAまで走行し、守谷SA到着をもって実験を終了した。

3. 結果

実験実施時の1時間雨量を実験参加者別に表1に示す。

(1) 標識読み取り課題の結果

実験参加者10名のうち、試行時の雨量が非常に少なかった1名を除き、9名のデータを分析した。5つの案内標識に対する試行を5回の繰り返しとみなして個人ごとに平均し、これをさらに9名で平均したものを図-2に示す。案内標識の内容が読み取れた認知距離は降雨時の方が非降雨時より約18m短く、この差は統計的に有意なものであった($F(1)=9.238, P<.05$)。ただし、比較的大きな個人差が見られたことから、全体の結果を概観するため、同じ案内標識に対する降雨時と非降雨時の認知距離をセットにして、9名の実験参加者のすべてのセットをプロットした散布図を図-3に示す。図-3の対角線より下の色ついた領域にプロットされると、その案内標識に対しては降雨時の方が認知距離が短かったことを意味するが、この領域にプロットされた点が明らかに多く、全体的に降雨時の方が認知距離が短いことが確認できる。

(2) 追従走行課題の結果

実験参加者10名のうち、降雨時/非降雨時のデータが揃わなかった2名を除き、8名のデータを分析した。減速条件3パターンのアクセル反応時間を個人ごとに平均し、これをさらに8名で平均したものを図-4に示す。降雨時は非降雨時より約1.4秒反応が遅く、この差は統計的に有意であった($F(1)=12.506, P<.01$)。図-5は、実験参加者ごとに降雨時と非降雨時のアクセル反応時間をセットにしてプロットした散布図であり、対角線より上の色ついた領域にプロットされると、その実験参加者の降雨時のアクセル反応時間は非降雨時より長かったことを意味

表-1 実験実施時の1時間雨量

参加者	最小値	最大値	参加者	最小値	最大値
1	2.5	4.0	6	0.0	0.5
2	0.5	2.0	7	0.5	0.5
3	0.0	0.0	8	0.5	2.5
4	0.0	0.0	9	0.0	0.5
5	4.5	6.0	10	0.0	2.0

注：1時間雨量データは気象庁HPより。

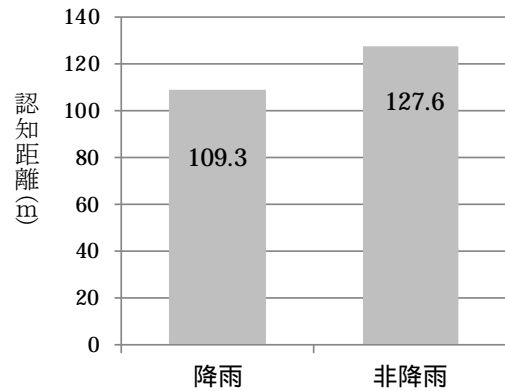


図-2 認知距離の比較 (N=9)
 $F(1)=9.238, P<.05$

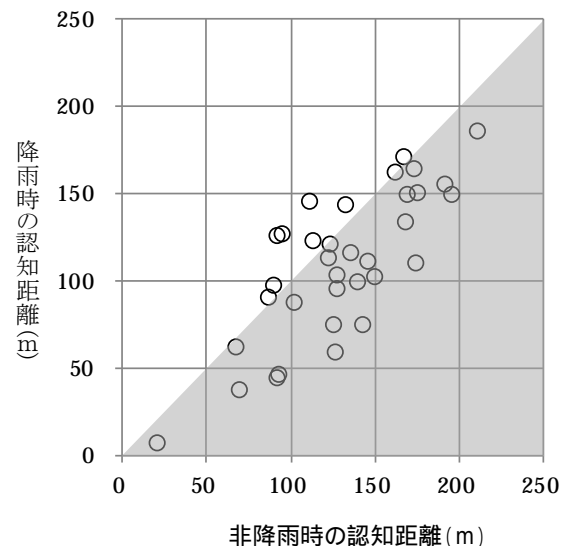


図-3 降雨時/非降雨時の視認距離の散布図

注1. 実験参加者別視対象別にのべ34セットをプロット
注2. 色付は降雨時の方が認知距離が短かった領域

する。8名中7名が対角線より上の領域にプロットされており、全体的に降雨時の方が反応時間が長かったことが確認できる。

4. 考察

標識読み取り課題では、同一の読み取り対象がどのくらい遠くから認知できるかを計測して降雨時と非降雨時で比較した。同じ対象がより近くに寄らないと認知できないということは、その視環境では空間周波数すなわち空間的な解像度がより低いことを意味し、細かいところ

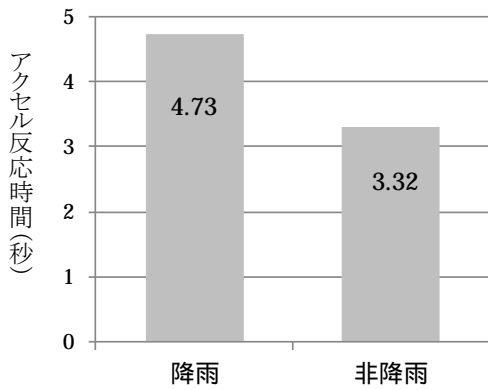


図-4 アクセル反応時間の比較 (N=8)
F(1)=12.506, P<.01

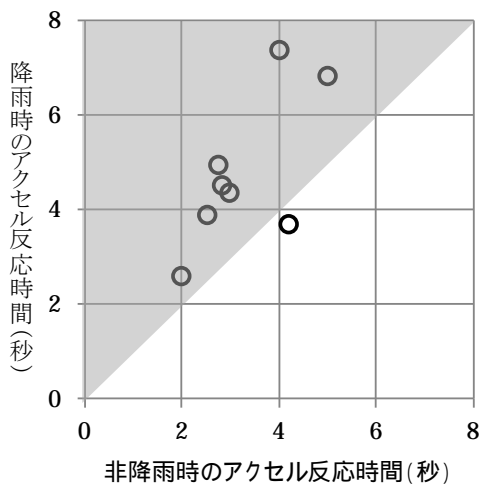


図-5 降雨時 / 非降雨時のアクセラレーション反応時間の散布図 (N=8)

注: 色付は降雨時の方がアクセラレーション反応時間が長かった領域

が識別しにくいと考えることができる。図-2に示されたように、降雨時では認知距離がより短かった。これは、フロントガラスに水滴や水の膜がついたり、空中に雨粒や水しぶきが存在したりすることや、雨天時の照度の低さなどに起因して空間的な解像度がより低かったためと考えられる。降雨時において空間的な解像度が低いことにより近づかないと見えにくいことは、危険物に近づくまで気づかず危険への対処が遅れることにつながると考えられる。

追従走行課題では、実験参加者は先行車との車間距離を一定に保つために先行車の動きに応じてすばやく加速もしくは減速しなければならないが、これは交通状況の

変化をすばやく認知し対応する課題と言える。特に、本研究で分析対象とした減速条件は、日頃の高速道路走行でも、前車の急な減速にすばやく対応して事故を回避する行動に関連があり、高速道路走行時の安全確保に本質的に重要な行動と思われる。図-4や図-5に示すように、非降雨時と比べて降雨時では先行車の急な減速に対応した減速が平均約1.4秒、最も差の大きい者で3秒以上も遅延したことは、降雨時における追突・接触事故等の危険性の増大を示すものと考えられる。先行車が減速を始めてからの経過時間が長くなるほど先行車との車間距離の変化量は大きくなる。前述のように、降雨時に空間的な解像度が低下すると細かいところが識別しにくく、つまり細かい変化に気づきにくくなり、より大きな変化になるまで先行車の減速の認知が遅れたものと考えられる。本課題では先行車はアクセラレーションoffのみによって減速を行ったが、ブレーキを使用しブレーキ灯が点灯すれば先行車の減速が実験参加者に容易に認知されやすくなったであろうことは想像に難くない。

以上の考察より、降雨時の視認性の低下は空間的な解像度の低下としてわれわれの視覚的認知に影響を与え、危険物の発見や交通状況の変化への対応に遅延を生じさせ事故の危険性を増大させる可能性が示唆された。「雨の日は見づらく、運転しにくい」という日頃の実感はこの点に依拠していると思われる。降雨時の空間的な解像度の低下による危険性を考慮した安全対策としては、道路照明や車両前照灯の点灯などによって照度を向上させる、減速時にブレーキ灯を点灯させるなどして後方の車の運転者に減速を知らせる、臨時速度規制による速度の抑制によって危険回避行動の遅延を補償する、などが考えられる。

参考文献

- 1) 森健二, 矢野伸裕, 横関俊也, 牧下寛: 高速道路における降雨時の実勢速度, 第31回交通工学研究発表会論文集, 13-16, 2011
- 2) 森健二: 雨天時の高速自動車国道での事故, 月刊交通11月号, 86-93, 2009
- 3) 横関俊也, 森健二, 矢野伸裕, 萩田賢司, 牧下寛: 交通事故統計と解析雨量からみた降雨時の高速自動車国道における安全速度, 土木計画学研究講演集, Vol.44, 講演番号154, 2011

(2012.5.7 受付)

AN INFLUENCE OF RAINFALL UPON COGNITION AND REACTION UNDER HIGHWAY DRIVING CONDITION

Nobuhiro YANO, Kenji MORI and Toshiya YOKOZEKI