

法制審議会
刑事法
(危険運転による死傷事犯関係) 部会
第3回会議 議事録

第1 日 時 令和7年7月10日(木) 自 午前10時28分
至 午前11時56分

第2 場 所 中央合同庁舎6号館A棟3階会議室

第3 議 題 1 ヒアリング
2 その他

第4 議 事 (次のとおり)

○猪股幹事 ただいまから、法制審議会刑事法（危険運転による死傷事犯関係）部会の第3回会議を開催いたします。

○今井部会長 本日は皆様御多用中のところ、御出席くださり、誠にありがとうございます。

まず、事務当局から本日お配りした資料について説明をしてもらいます。

○猪股幹事 本日は、ヒアリング関係の資料として、ヒアリング出席者名簿、ヒアリング出席者の説明資料をお配りしております。

○今井部会長 それでは、議事に入りたいと思います。

第2回会議で申し上げたとおり、本日は諮問事項「二」の高速度類型に関するヒアリングを行います。進行としては、ヒアリング出席者名簿に記載の方から、自動車の高速度運転の危険性等についてお話を伺った後、質疑応答の時間を設けたいと思います。そのような進め方とさせていただくことでよろしいでしょうか。

（一同異議なし）

○今井部会長 御異議がないようですので、早速ヒアリングを始めたいと思います。

お話を伺わせていただくのは、東京農工大学名誉教授の毛利宏様です。

毛利様、よろしくお願いいたします。

○毛利参考人 東京農工大学の毛利でございます。

今日は危険運転速度の検討ということでお話をさせていただきます。

（スライド2枚目）

まず、簡単に略歴を紹介しますと、大学を卒業した後、日産自動車に入社して、車両運動の性能を向上させるシステムですとか、自動運転ですとか、運転支援システムの研究開発に携わってまいりました。山梨大学に移り、その後、農工大に異動して、農工大では企業で携わってきたことと同じような研究を進めてまいりました。去年の3月に定年退職をしまして、現在は東京農工大学の名誉教授兼産官学連携研究員として、企業との共同研究に携わっております。ですので、大体27年間企業にいて、それが働いている間の3分の2で、3分の1が大学という経歴となります。

（スライド3枚目）

それでは、本題に入りますけれども、本日の内容は、大きく分けて二つです。一つ目は、一般論として、高速で運転が難しくなる理由、車の特性がどう変わるかというお話をします。二つ目は、危険運転速度を定量化する一つのアプローチ方法についてお話をします。

（スライド4枚目）

まずは、高速で運転が難しくなる理由について、制動に関する基本事項をお話します。極めて単純なことですので、釈迦に説法で恐縮ですが、減速度が加わると、車の速度や停止距離はどう変わるかというお話をします。

上から、制動減速度、それから速度、それから走行距離について、三つのグラフが書いてあります。横軸は時間軸です。

まず、加速も減速もしない一定速であるときには、最初の速度が V_0 であれば、ずっと V_0 のままです。当然加速も減速もしないで一定速ですから、加速度はゼロになります。この状態で走ればどうなるかというと、車はその後も一定速で走っていきます。時間とともに距

離が延びるということです。車速掛ける時間という式で距離を測ることができます。

ある時刻をゼロとして制動を開始しました。その減速度ですが、ブレーキの加速度を G_B と書いておくと、加速度が一定ですから、一定の割合で速度が減っていきます。速度がゼロになったところが停止です。ですので、速度は、この $G_B t$ という比例分が加わり、 $V = V_0 - G_B t$ という式のとおり減速していくわけです。距離は、時間に比例するわけではなく、この $G_B t$ が時間で一階積分されて、 $L = V_0 t - \frac{1}{2} G_B t^2$ という式になります。

では、この制動を開始してから停止するまでの時間を制動時間と呼び、この制動時間がどのように計算されるかという、停止するのは車速がゼロのところですから、この値（ V ）がゼロになればよいのです。ということは、 $V = V_0 - G_B t = 0$ これを解いて時間 t を求めると、 $t = \frac{V_0}{G_B}$ という式になります。そのため、制動時間は $T_{Brake} = \frac{V_0}{G_B}$ と書けるわけで、車速を減速度で割ったものとなります。

ブレーキを掛け始めてから止まるまでにどれだけ走ったかというのが、制動距離になります。制動距離を求めるときには、時間が分かっていますから、 $T_{Brake} = \frac{V_0}{G_B}$ を $L = V_0 t - \frac{1}{2} G_B t^2$

に代入して整理します。少し複雑ですが、制動距離は $L_{Brake} = \frac{V_0^2}{2G_B}$ という式で書けます。この時注意しなければならないのは、 V_0 の2乗ということです。ですので、制動距離は、最初に走っていた車速の2乗で延びていくということです。

（スライド5枚目）

今度は、単純にブレーキを掛けたということではなくて、何かを発見してブレーキを掛けたと考えます。そうすると今度は、グラフの左端の地点で発見したことになります。時間軸のゼロをその時刻に変更します。当然、発見してから反応する時間がある、これが反応時間ですが、その間、車は空走してしまうわけです。何もされない一定速で走ってしまいます。この空走距離はどう書けるかというと、これは一定速で時間が経過しただけですから、車速掛けるその反応時間という式（ $L_{stop} = V_0 \cdot t_{react}$ ）で空走距離が求められます。ここで注意したいのは、空走距離の方は、車速の1乗、車速に比例することです。

この二つを足したものを停止距離といい、よく警察が出しているデータになります。

整理すると、停止距離というのは空走距離と制動距離から成り立って、そのうち空走距離の方は車速の1乗だし、制動距離の方は車速の2乗という式（ $L_{stop} = V_0 \cdot t_{react} + \frac{V_0^2}{2G_B}$ ）になります。

（スライド6枚目）

それを具体的に書いてみると、例えば時速100キロメートルで走っていたとすると、停止距離が69メートル、空走距離が19メートルぐらいになります。仮に時速40キロメートルの値を基準として、その5倍の速度である時速200キロメートルになったときに停止距離はどうなるかというと、空走距離は単純に速度に比例するため、5倍になります。制動距離はどうかというと、25倍になります。ですから、車速が高くなればなるほど、制動距離の割合がどんどん増えてくということです。トータルすると、この例では、

停止距離が約1.5倍になります。これが制動に関する極めて基本的な話です。

今日お話しするときに、この加速度を使いますが、これは路面摩擦係数で決まります。今日は摩擦係数を0.8とし、最大出せる加速度で0.8Gを想定しています。これは、乾燥アスファルトの代表値と思ってください。

(スライド7枚目)

これは停止距離の値についての単純な資料です。今後の検討に使用していただければと思います。

(スライド8枚目)

次は操舵に関する基本事項ですが、操舵は2自由度の運動です。制動は、単純に直線上のどの位置で止まるかという話ですが、制動は二次元になりますので平面内の運動になります。並進と書いてあるのは横方向、それから回転と書いてあるのは回転方向です。車の運動はタイヤの力で発生しますので、簡単に言うと、回転は前輪の横力と後輪の横力の差ですし、並進は前輪の横力と後輪の横力の和となります。

状況に応じて、この横力が適切に発生するように車は設計されています。ですから、普通に運転していれば、うまくバランスを保っています。ところが、何かの拍子で前輪が横力を出せなくなる場合には、フロントから逸走してしまいます。この動きをドリフトアウトといいます。それから、後輪の横力が減ってしまうときにはくるっと回ってしまうわけです。これはスピンといいます。

この様子を全部含んだ動画がこちらです。制限速度で走っていますが、車を避けようとして、ハンドルを切ってスピンしてしまいます。この人はすごく運がよくて他の車にぶつかりませんでしたが、大切なのは、制限速度でも、車がちょうど曲がろうとしたときに、同じ方向にハンドルを切ってしまったりすると、くるっと回ってしまうということです。ですので、応答がいいとか悪いとか以前に、安定性の考慮も必要になってきます。そのような意味で、最初にお伝えした制動に比べて、操舵に関する運動というのは少し扱いが難しいということになります。

(スライド9枚目)

高速になるに伴い操舵で運転することが難しくなる理由を考えると、一つはタスクが変わることです。高速になると操作するべきことが変わります、厳しくなるということです。もう一つは車両の特性が変わってくることです。この二つの要素があります。

(スライド10枚目)

タスクが変わることについては、例えば低速、上側のレーンですけれども、人が障害物として出てきたとします。これを発見して、避けなければいけないわけですが、反応の遅れがありますので、その間は、操舵の場合にも空走してしまいます。そこからハンドルを切り始めて避けるわけです。高速の場合はどうなるかというと、出てきてから発見してハンドルを切り始めるまでに反応の遅れがありますが、この空走距離が長くなります。これは反応時間は同じでも、車速が高いので走行してしまう距離が長いということです。

この人が出てくる位置は同じですから、操舵回避に使える距離が短くなります。ですので、タスクが難しくなるということです。距離だけではなくて、時間も当然短くなります。

高速では、短時間に短距離で横移動をしなければいけません。そのためには、早いタイミングで横加速度を大きく出してあげないと避けることができません。それを実現するため

にドライバーが行うことは、素早く正確に操舵をしなければいけないということですが、今までの説明では、この正確にというお話はしていませんでした。

(スライド11枚目)

なぜそのように気を使って運転しなければいけないのかについて考えると、このようなグラフが書けます。これは、横軸にハンドル角が書いてあって、縦軸に発生する横加速度が書いてあります。車速ごとに書いてありますが、車速が増加すると、この傾きが立ってくるということです。その結果どのようなことが起きるかという、車速が時速60キロメートルで、横加速度が0.6G発生しているハンドル角から、ちょっとハンドルを動かしてしまったとすると、そのときに発生する横加速度は、青色矢印分変化します。横加速度が変化するという事は、車両軌跡も変わるということです。

同じように、横加速度が0.6Gという同じ旋回ですが、車速が時速180キロメートルで旋回していたときに、同じだけハンドル角度を動かしてみると、この傾きが大きいからです、大きな変化になってしまいます。ちょっと気を使わないと、これだけがたがた動いてしまいます。高速では、ハンドル角に対して横加速度が敏感ですから、丁寧に正確なハンドル操作が必要になります。これは、わざわざここで私が申し上げなくても、警察の指導として、高速でのハンドル操作は慎重にと言われてますし、高速道路を運転する際に、気を付けなければいけないと、日常的に経験することです。

(スライド12枚目)

次は、その大きさというよりは、タイミングの話です。これは、高速では、応答性、収束性が低下すると書いてありますが、横軸に時間を取って、上のグラフの縦軸にハンドル角、それから下のグラフの縦軸には横加速度が書かれています。同じようにハンドルを切ってみると、車速ごとにどのような横加速度波形になるかという、時速30キロメートルだとこのくらい、60キロだとこのくらい、90キロだとこのくらい120、150、180と、これは先ほど申し上げたとおり、同じハンドル角でも、車速が増加すると出てくる横加速度が大きく変化し、下のグラフのように変わります。

応答性について話をしたいのですが、このように見ると、高速では横加速度が大きく発生しているため、一見、時速180キロメートルの方が早く立ち上がっているのではないかと見えます。ただ、応答性というのはそのようなものではなく、この最終値を同じにして考えるべきものです。同じにして考えるためには、同じハンドル角を入れるのではなく、時速30キロメートルでは大きなハンドル角、時速180キロメートルでは小さなハンドル角を入れることで、最終値を同じにすることができます。

(スライド13枚目)

同じにしたグラフを書いてみると、このようになります。最終値をそろえてみると、明らかに時速30キロメートルの方が応答性いいことが分かります。高速になれば応答性は低下するし、収束性も低下します。

左側のグラフは、単純にハンドルを切って、そのまま定常旋回していく様子を表していますが、右側のグラフは、車線変更の様子を表しています。車線変更というのは、シミュレーション上は正弦波操舵、正弦波状にハンドル角を入れれば車線変更してくれるのですが、これも同様に、最終値をそろえて横変位を書いてあります。これももちろん、同じハンドル角であれば、横変位の大きさは変わるわけですが、最終値をそろえて書いて、時速

30キロメートルと時速180キロメートルを比較しますと、応答性が低下するし、収束性も低下することが分かります。

これだと、まあそんなものかなと思いますが、横方向を時間ではなくて走行距離に変えてみます。それが右側一番下のグラフです。結局、高速になればなるほど、横移動するのにたくさんの距離が必要になるということが、このグラフから分かります。ですから、高速になれば、ゆっくり操舵しては間に合わない。ただでさえ回避距離が短くなってしまいうのに、ゆっくり操舵しては間に合わないということです。

(スライド14枚目)

これを、障害物回避を例にして書いてみます。これも正弦波入力を仮定していますけれども、車両単体の話をしたいので、ドライバーの空走時間はゼロとして書いてあります。これが結果ですが、上から操舵角、横加速度、横変位と出てきます。横軸は時間です。青色が時速90キロメートル、赤色が時速180キロメートルです。仮に障害物を避けて、隣接車線の3.5メートルに収束しようとする、時速180キロメートルではハンドルを早く切らなければいけない、大きく切らなければいけないということが分かります。発生する横加速度に関しても、時速90キロメートルなら0.15G、0.15Gというのは、ほとんど発生したのというのが分からないくらいです。それが、時速180キロメートルで回避するときには、何と限界横加速度まで発生します。ですので、ハンドルを早く切らなければいけないということと、操舵を間違えると、この限界を超えてしまったりしますので、丁寧にハンドルを切らなければいけないということが分かります。

(スライド15枚目)

ここまでは、車両単体についてお話をしてきましたが、今日はドライバーの話もしなければいけないので、ドライバーを含めて考えていきます。

ドライバーを考えると、我々が採る一般的な方法は、ドライバーをある制御器に見立てて、ドライバーモデルを作るというものです。制御器とは、コンピューターみたいなものです。そこで使われる代表的なモデルとして、前方注視モデルというものがあります。前方注視点とは、車の中心線上を延長した先にある点です。前方注視点までの距離を前方注視距離と呼びます。一般に前方注視距離というのは、何秒先という言い方をしますが、例えば、時速180キロメートルであれば秒速50メートルであり、1秒先というと50メートル、2秒先というと100メートル先を見て走るということになります。

この前方注視点から目標コースへ垂直に延ばしたときの偏差をイプシロン(ϵ)としておきます。前方のイプシロンをなくすようにハンドルを切るのが、前方注視モデルの一番基本的な考え方です。例えばハンドル角はある係数掛けるこの偏差になります。ですから、イプシロンが1メートルずれたときに、係数が5だとすると5度切りなさい、マイナス1メートルだとするとマイナス5度切りなさいという具合に、人間は操作しているという仮定を置いたわけです。

それをブロック図で表してみます。ドライバーは、目標コースが与えられると、ハンドルを切って操舵角を発生させます。ハンドルを切ると、車が運動をします。車が運動すると、また前方注視点を作るわけです。この前方注視点と目標コースの差は、最初にハンドルを切ったときはプラスでしたが、次にハンドルを切ったときはマイナスになります。そのような前方注視点の動きがあり、前方注視点と目標コースとの差をイプシロンとしています。

このイプシロンに応じて、またドライバーがハンドルを切り、このブロック図をぐるぐる回りながら車を運転していくというのが、前方注視モデルです。

先ほどは、係数を5と言いましたが、実際には、ドライバーのいろいろな特性を考慮します。ですから、例えばイプシロンがステップ状に変化したとしても、操舵角はかくかくしないで、だらったような形、これは動特性といいますけれども、そのようなものの中では考慮されています。

もう皆さんお気づきだと思いますが、人間は必ずしも前方注視モデルのように運転していません。俺は2秒先のところしか見ていないなんてことは絶対ないわけです。そのため、必ずしも前方注視モデルのように運転しているわけではないのですが、このように考えると、運転操作の特徴を比較的うまく表現できます。

(スライド16枚目)

そのドライバーモデルで、障害物を見つけて速やかに車線変更した例を示します。

これは、3.5メートル横に動いて車線変更をするよう試みた場合の各速度ごとの走行軌道を示したものです。ちなみに、横軸は300メートルで、縦軸は6メートルですから、実際には、横軸はずっと長いと思ってください。各速度ごとにこのようになり、時速120キロメートル以上になると、走行軌道は発散します。実際には発散しないと思いますが、必ずしも正確なモデルではないですが、定性的にそのような傾向があることが分かります。車速が増加すると、横移動するのに長い走行距離が必要になり、さらに、軌道は振動的になります。

(スライド17枚目、18枚目)

その他の基本事項として、やはり気になるのはブレーキ単体、ハンドル単体ではなくて、一緒に操作したらどうなるかということです。

複合入力と呼んでいますが、非常に扱いが難しいです。なぜなら、制動力、操舵力の大きさやタイミングで様々に挙動が変わるからです。スライド8枚目で示した動画のようにスピンから回避した事例もありますが、いろいろな操作を行ったことから、たまたま回避することができただけの話であって、人の操作によってはスピンしてしまう場合もあるし、ドリフトアウトしてしまう場合もあります。

例えば、強い制動力、ブレーキを掛けて、そこでハンドルを切った場合は、ハンドルが効かなくなります。今はABS（アンチロック・ブレーキ・システム）を搭載した車も増えていますから、多少は動くかもしれないですが、傾向としては上の図のようになります。一方、ハンドルを切った後にブレーキを踏むとどうなるかというと、下の図のように、大きな横滑りが発生します。これは本当にごく一部の例で、挙動は本当に様々です。このように、複合入力は扱いが難しいので、今日の話の中では扱いません。

(スライド19枚目)

それから、別のトピックですが、ハンドルでよけた方が有利なのか、ブレーキでよけた方が有利なのかという話をします。

横軸が車速であり、縦軸は、障害物発見時の障害物との距離です。縦軸の上の方は障害物が遠くに出現しているので安全側であり、縦軸の下の方は目の前に出現しているので危険側です。では、ブレーキで回避するときに、どのような境界線が引くことができるかというと、このような赤い境界線が引けます。これを制動回避限界と書いてありますけれども、

これよりも上側、つまり遠くに出現したときには回避可能だし、目の前に出現した場合、制動回避限界の下側はもはや回避不可能になります。ですから、車速とともに回避できない領域が増えていきます。

では、ハンドルで回避する時はどうかというと、境界線は直線になります。ですから、操舵回避限界の上部と制動回避限界の下部で囲まれた領域は、操舵では回避できるけれども制動では回避できない領域になります。制動回避限界の上部と操舵回避限界の下部で囲まれた領域は、ブレーキをかければ安全ですけれども、ハンドルで避けようとするどぶつかってしまう領域になります。

このいいとこどりをしたものが回避限界曲線であり、緑色で着色された領域が回避可能領域になります。つまり、ブレーキか操舵のいずれかで回避できるところは、回避可能領域にするという考え方です。これはこの後も出てきますが、低速ではブレーキで回避した方が有利で、高速ではハンドルで回避した方が有利になります。今日の例では、パラメータをそろえてあるので、時速約70キロメートルを境に、それより高速の場合は操舵が有利、低速の場合はブレーキが有利というイメージで考えていただければよいと思います。

(スライド20枚目)

前半をまとめます。まず、高速になると危険回避は難しくなります。難しくなる理由は、一つは要求されるタスクが変わることです。もう一つは車両特性が変わることです。どのようなことを御紹介したかということ、タスクに関していえば、回避に使える距離や時間が減少してしまうということ、それから、これは車両特性と関わりますが、速く正確な操舵が要求されるということです。それから、車両特性でいえば、最初の方でお話した停止距離が増大してしまうこともあります。それから、横加速度に対してハンドルが敏感なので、丁寧に操作しなければいけません。それから、車両の応答性、収束性が低下することや、ドライバーモデルを使って考えると不安定になるという話をしました。これが前半の内容です。

前半の話を一言で言えば、高速運転では、危険性が高まることは確かです。車の性能だとか人間の性能だとかいろいろな要素にもよりますが、定性的には間違いなく危険であるということと言えるということです。

(スライド21枚目)

第2の本題に入ります。危険運転速度の定量化についてお話をします。

定量化するためには、何か数学的な手段をとる必要があるのですが、モデル化することを考えますが、どのようにすれば定量化できるかということが非常に悩ましいところです。定量化が可能な条件については、ここにいらっしゃる方全員同じ能力で、日々全く変わらない、いつ運転しても同じパフォーマンスを出せるという状態であれば、定量化は可能です。さらに、車両特性も同一、どんな車でも一緒ということも必要です。

定量化するに当たって、どのように条件を設定すればよいか。例えば、こういう条件が仮にそろったとしたら、どのように定量化すればいいかというと、目標状態を与えて、ドライバーはそれを酌んでハンドルを切ります。車両が運動しますから、状態が変わるわけですが、きちんとタスクを達成できるとします。このループがぐるぐるきちんと回っているというのが、運転をしているという状態です。ただ、車速をどんどん上げていくと、これが発散してしまつてタスクが達成できなくなります。その速度のことを危険運転速度

と定義すれば、確かに定量化することができます。今日はその話はしませんが、例えば、車のモデルや人間のモデルを定義することができるのであれば、このようなアプローチの方法はあるということです。

ただ、実際にはこのような条件はそろわないし、完全なものはなかなか作れません。それから、例えば平均的なドライバーがどのような人かと言われたときに、定義ができません。一番下手な人や一番上手な人は誰ですかと言われたときに、なかなか定義できないので、定量化はなかなか難しいです。

(スライド23枚目)

ですので、今回のアプローチの方法としては、このようなドライバーモデル、車両モデルを個別に使うのではなくて、それらを合わせて抽象化した物理モデルを導入しました。

物理モデルとは何かというと、例えば、目標状態が与えられます。瞬間的に障害物を発見して、何秒後に何メートル変位、つまり横に動かなければいけないという目標状態が与えられるわけです。そして、そのときに発生しなければいけない横加速度を計算できます。ですから、こういうタスクが与えられたときに、この物理モデルでは、ドライバーと車両を合わせたものに、横加速度が発生します。この横加速度はどのように発生するかというと、横加速度を1階積分すると横速度ですし、それをもう1階積分すると横変位になりますから、目標状態と横変位が一致するように横加速度を決めることになります。

一般ドライバーが普通に車線変更するときには、正弦波状の横加速度が発生するという仮定を置きます。これは、後で説明します。それから、実際には実現できないけれども、例えば究極のドライバー、究極の車の組合せを想定し、矩形波状の横加速度を仮定します。

(スライド24枚目、25枚目)

今日は、ここから検討を始めていくわけですが、ある参考文献のデータを基にストーリーを組み立てています。

まずは、反応時間についてです。先ほど申し上げた空走してしまう時間のことです。「Speed Management」という報告書があります。これは皆さん御存知かもしれませんが、欧州が発行した報告書があります。そこでは、統一見解として標準的・代表的な数値として1秒を設定しようとなっています。ただ、補足として、平均的な反応時間はある範囲を持たなければいけないですから、0.7秒から1.5秒を例示しています。

それから、交通事故の解析分野、これは学術的な話になりますが、0.75秒や0.8秒を使うことが多いです。それから、裁判などの事例では、0.7秒から1秒を使うことが多いです。私が実際に裁判に携わった時には0.7秒を使っていました。それから、参考文献の実験結果ですが、これは障害物をいきなり出して避けるという実験が行われたのですけれども、出現することを事前に教えていないと、反応時間が平均的に0.7秒でした。

今日は、先ほども申し上げたように、この参考文献のいろいろなパラメーターを使ってストーリーを組み立てていきます。参考文献で使われている値を全部一貫して使うということです、反応時間は0.7秒に設定します。

(スライド26枚目)

参考文献ではどのような実験を行ったかということ、障害物をドライビングシュミレーターで急に出現させて、それを避けるものです。そのときに、どのように避けたか、実際にう

まく避けられたか、失敗してしまったかについて実験をしています。コースは、車線幅が3.5メートルで、障害物を突然出現させます。そのときに、ドライバーがひゅっと避けるという実験です。実験のパラメーターは、障害物の出現する位置を変えたり、走行速度を変えたりして、実験をまとめています。

(スライド27枚目)

ドライバーにはどのように伝えているかというと、二車線道路の左側を走ってくださいということと、何かあったら、ブレーキを踏まないで、ハンドルで右へ車線変更してくださいということを伝えています。あと、事前に実験参加者に伝えている情報ですが、一つは予測条件という、障害物が出てきますよと伝えて実験をするパターンがあります。ただし、どこに出てくるかとか、いつ出てくるかということは伝えていません。それから、不測条件という、実験参加者が全く何の実験か知らずに、とにかく走ってみてと伝えられて実験するパターンがあります。

それから、車速は先ほど申し上げたように3仕様、時速40、60、100キロメートルでやっています。それから、出現距離は6仕様、20メートル前方に出すものから60メートル前方に出すまで、6仕様あります。ですから、 3×6 で18仕様あるわけです。この出現距離、いろいろありますけれども、車速が変わりますから、回避にかかる時間も変わります。その回避にかかる時間を求めるために、出てきた距離を車速で割った総回避時間を定義しています。それが0.7秒から5.4秒ぐらいまで幅があります。18仕様の中で、車速が時速40キロメートル、出現距離が60メートル前方の仕様が一番簡単で、車速が時速100キロメートル、出現距離が20メートル前方の仕様が一番厳しい。予測条件は、条件を変えて実験できますが、不測条件は一発勝負です。出てくることが分かっちゃえば、もう実験できないです。時速60キロメートル、出現距離が40メートルの1仕様のみが不測条件になります。

(スライド28枚目)

実験結果です。まず時速40キロメートルの場合です。この棒グラフの紫色が回避に成功した人の割合です。横軸は障害物が出現する距離です。横軸の左端が20メートルですから、手前に出現します。横軸の右端が60メートルですから、遠くに出現します。この縦軸は、実際に実験に参加した人が成功した割合です。100%が全員成功。ですから、出現距離が60メートルの時速40キロメートルの場合には全員成功しているということです。時速40キロメートルだとかなり回避に成功する確率が高いです。この赤い部分は何かということ、障害物にぶつかってしまう割合です。時速40キロメートルは低速ですから、横に避け切れないで、相手にぶつかっています。車を大きく動かせないということです。

時速60キロメートルの場合は、時速40キロメートルの場合に比べて回避の成功は少なくなってきました。相変わらずぶつかってしまうというのはありますけれども、少し増えてきたのはこの黒いところで、これは路外逸脱をするというものです。ですから、余りに手前に出てくると、ハンドルを一生懸命切っちゃって、道路をはみ出してしまうということです。もう一つここで分かるのは、グラフ上部に「予測」「不測」と書いてありますが、時速や出現距離は同じ条件も、「予測」というのは障害物が出現することを知っている場合で、「不測」は何の実験か知らない場合です。そのパターンでやると、同じタスクにもかかわらず、障害物の出現を知っていれば全員障害物を避けられましたが、知らない

と、半分が失敗で半分が成功という具合になりました。「予測」、「不測」の差は大きいですね、知らないと避けられませんでした。

時速100キロメートルでは、もはや回避成功はとて少なく、大部分が失敗になります。ここで、黒い部分に「走行放棄」と書いてありますが、これは、路外に逸脱してしまって、実験継続が難しいという状態です。これは、ハンドルを少し切ったら車が大きく動いてしまうから、逸脱してどっかへ飛んでいってしまって実験できなかったということです。

(スライド29枚目)

これまで車速ごとのお話をしましたが、それを、先ほどお伝えした出現距離を車速で割る、つまり回避するのにどれだけ余裕時間があつたかという、総回避時間というもので整理します。

グラフの横軸は総回避時間で、縦軸は回避の成功率です。どの車速で走っても、大体似たような曲線になってきます。1. 2秒以下では成功する人はいませんでした。ところが、3. 0秒以上では全員成功しました。ということは、回避成否の境界というのは、1. 2秒と3秒の間にあるということが分かります。ただ、これは予測条件の場合です。不測条件の結果はグラフに「△」で表しています。

(スライド30枚目)

出現した障害物を回避するためどのようにハンドルを切ったかということを説明します。これはコースを俯瞰してみた図です。障害物の出現前、車は図の左端にいて、障害物が出現後、少し空走時間があって障害物を避けているという図です。このときのハンドル角の典型例が下の図のようになります。ここで特徴的なのは、全ての走行において、共通して二つのピークが観察されたということです。ということは、正弦波状にハンドルを切ることです。ですから、一般ドライバーの回避行動というのは、正弦波を前提にしてモデル化しても、あながち間違いではないであろうということになります。

(スライド31枚目)

ここまでの参考文献の主な結果をもう1回振り返ってみると、位置やタイミングは知らないものの障害物の出現自体は知っているという予測条件下では、3秒あれば全員成功、1. 2秒以下では全員が失敗でした。それから、お伝えしませんでしたけれども、反応時間の最小値というのは0. 3秒でした。角速度の方は最大500デグリーパーセックでハンドルを切りました。500デグリーパーセックでは切れるということです。障害物の出現を知らない場合には、知っていた場合に比べて反応時間は長くなるし、操舵角速度は小さくなります。結果として、回避成功率が低下するということが、実験のまとめとして記されています。それから、出現を知らないときの平均反応時間は約0. 7秒でした。この0. 7秒は、今回の検討で使った値になります。

(スライド32枚目)

これから定量化に入っていくわけですが、まず全員が成功する横加速度の発生パターンを考えます。参考文献の結果から、障害物の出現を知っていれば、3秒の余裕があれば全員が回避できました。しかし、実際には、そんなことは知らないわけですから、知らないことを前提として考えていかなければなりません。

先ほどお伝えしましたが、反応時間と操舵時間に分けて考えると、この反応時間は、知っていたら最短で0. 3秒でした。ということは、操舵時間は最長で2. 7秒あったという

ことです。ですから、操舵時間 2.7 秒あれば誰でも回避できるということです。一方で、出現を知らなくても 0.7 秒あれば反応できました。ですから、反応時間は 0.7 秒を採用します。それから、操舵時間というのは、最長の 2.7 秒を採用します。そうすると、反応時間 0.7 秒と操舵時間 2.7 秒を合計し、総回避時間は 3.4 秒になります。これが黄金パターンで、このパターンであれば、何かあっても全員回避できるだろうという前提を置いています。

(スライド 33 枚目)

空間的にどのように表されるかという、これは、車線変更していく様子ですが、総回避時間は 2.7 秒 + 0.7 秒で合計 3.4 秒です。その間に、時速 60 キロメートルを考えていますが、走ってしまう距離は、56.7 メートルになります。ですから、56.7 メートル先に障害物が出現すれば、制限速度時速 60 キロメートルの道路を時速 60 キロメートルぎりぎり走っていても避けられるということです。反応時間の 0.7 秒だと空走距離が 11.7 メートル、操舵時間は 2.7 秒ですから、それは 45 メートル、これらを合わせると 56.7 メートルになり、このような内訳で 56.7 メートルというのを決めています。

それから、回避横変位ですけれども、これはもうざっくり決めるしかありません。何か避けようとする、当然隣の車線に移って、そこでとどまらなければいけないということで、回避横変位を 3.5 メートルに置いています。もちろん、道路構造令で決まる車線幅というのはいろいろな道路によって変わるわけですが、ここでは 3.5 メートルとしています。

(スライド 34 枚目)

ここから今までの話とがらっと変わります。違うトピックだと思ってください。一般のドライバーはどういうふうにハンドルを切っているかというのは、今までのお話で説明させていただきましたが、では、究極のドライバーが究極の車を運転する場合は、どのようなものを想定すればいいのかというお話です。例えば、 $\pm a_{max}$ という最大加速度を出せる車があったとします。そして、図の左端で停止していて、終端位置 L で停止するという条件で、この間を最も速く最短時間で移動したいわけです。最初速度がゼロで、最後の速度もゼロで、ただ動かなければいけないので、位置は L メーター移動する、このような問題というのは、最適制御問題になります。この時に発生する加速度を、どう発生させれば最短時間で移動できるかというのは、数学的に解くことができます。答えはこの図のような形になります。

とにかく加速するときは最大で加速します。そして、中間地点でスイッチングして、今度は最大減速度で減速する、これが一番速いやり方です。こういうのを最適制御の分野では Bang Bang 制御といいます。この Bang Bang 制御は、横方向でも同じです。最初走っていたレーンから、隣のレーンに移るとき、横方向の速度は、最初はゼロで、最後も横方向にゼロにならなければいけないということです。このときに発生する横加速度は矩形波横加速度を用いるべきである。つまり、矩形波で加速度が発生するということは、最短時間で車線変更を保証するということです。この最短時間で車線変更というのは、もう究極の、一番上です。ですから、これは最高のドライバー、最高の車をもってしても実現できません。では、どこか決めてよというお話もあるかもしれないですけれども、決められないのです。加減ができないから、とにかく一番上のところを決め

たというのがここのお話になります。だから、最高の、究極のことをやっていますから、このような横加速度を発生させることは、実際には極めて困難ということです。

(スライド35枚目)

では、ここからは、準備がそろいましたので、定量化のアプローチに入っていきます。

(スライド36枚目)

ステップ1で、まず外乱空間を想定します。例えば、「衝突する対象の急な出現」として表現して、制限速度だったら誰でも回避できる外乱を生成します。ここで生成した外乱を先ほどの究極のドライバーが物理的に避けられない速度を危険運転速度とするというのがアプローチの仕方です。

(スライド37枚目)

求め方として、時速60キロメートル制限の道路において、時速60キロメートルで走行していた場合に誰でも回避できる外乱を想定することとします。

衝突する対象を発見して、反応時間が0.7秒、操舵回避時間が2.7秒あれば、誰でも回避できるとお話ししました。それを距離で表すと、空走距離が11.7メートル、操舵回避距離が4.5メートルなので、合計で出現位置は16.2メートルになります。回避横変位は3.5メートルとして、これでステップ1の外乱が生成されました。

今度は、それを究極のドライバーが回避します。車速が増加していった、究極のドライバーが登場しますが、この下の図のような形です。今日は0.8Gを想定していますので、空走した後、0.8Gでハンドルを切って、ぎりぎり回避する。この回避できる車速というのを計算すると、時速100キロメートルになります。これが危険運転速度で、これがステップ2ということになります。ちなみに、時速100キロメートルでは、反応時間0.7秒に進む距離は19.5メートルになります。

(スライド38枚目)

危険運転速度の計算を今のやり方で全部求めると、このグラフのようになります。今、例にしていたのは制限速度時速60キロメートルの危険運転速度が時速100キロメートルでしたが、残りはこのグラフのように書いて、全ては、危険運転速度は制限速度掛けるある係数と、一次直線で書けます。掛け算の形で書けます。ただ、究極のドライバーと車を想定していますので、実際にはこれより低い速度で回避不可能となるということが予想されます。

(スライド39枚目)

なお、例えば、反応時間を0.7秒ではなく1秒と仮定してみると、これは条件が難しくなりますから、危険運転速度は下がりますし、回避横変位の幅が3.5メートルではなく3メートルだとすると、これはタスクが簡単になりますので、危険運転速度は上がります。

(スライド40枚目)

今御説明した危険運転速度で走行中に、ブレーキで避けてみた場合を計算してみると、このグラフの赤線が、障害物に衝突する速度になります。

これをみると、時速40キロメートル以下では、衝突速度が時速0キロメートル、つまり、衝突前に車が止まってしまうということが分かります。つまり、操舵では、ぎりぎり避けられたものが、制動であれば、その手前で止まることができたということが分かります。

操舵のみによる回避を前提とした危険運転速度はこのグラフの青線のとおりですが、制動で回避すれば時速40キロメートルでは止まれてしまったのではないかと思います。したがって、制動でも回避できない速度を危険運転速度にするというやり方が考えられますが、ほかにも、これまでは参考文献を参考にして操舵で外乱を作ってきましたが、制動回避を前提として外乱を作って、同じ議論をするということも考えられます。それは時間の関係から説明は割愛します。

(スライド41枚目)

制動でも回避できない速度を危険運転速度とするという方だけ御紹介すると、外乱は操舵で作りますが、制動で回避します。このグラフの青線が、先ほどから示している操舵で回避したパターンですが、制動で回避すると赤線のような危険運転速度が算出されます。青線の下で赤線の上の領域は操舵でなら回避できますが制動では回避できず、青線の上で赤線の下領域は制動なら回避できますが操舵では回避できないということになります。そうすると、操舵、制動いずれの手段を取ってもいいから、とにかく回避できるところは安全な回避領域としておくということであれば、操舵回避を前提とした危険運転速度と、制動回避を前提とした危険運転速度のより高い数値を採って、これを危険運転速度としておくのが妥当であるという結論になります。これは、先ほどから申し上げているように、低速では制動の方が有利であり、高速ではハンドルの方が有利であるということとなります。

(スライド42枚目)

少し時間が掛かってしまい申し訳ありませんでしたが、定量化の方法について検討したということと、ステップ1の外乱生成とステップ2の危険運転速度の計算という、二つのステップで危険運転速度を求めました。そのパラメーターを決めるのに参考文献の値を使ったというのが、本日の御説明でした。

(スライド43枚目)

以上、御清聴ありがとうございました。

○今井部会長 毛利様、ありがとうございました。

それでは、委員の皆様から御質問をお伺いしたいと思います。御質問のある方はいらっしゃいますでしょうか。

○虫本幹事 毛利先生、どうもありがとうございました。1点御質問させていただきます。

今日、途中で御紹介いただいた、ある文献で実施されたという実験がございましたが、こちらの実験の実施条件について、いつ頃行われたものであるか、その使用車両、あるいはシミュレーターの性能、被験者の特性などについて、先生がお分かりの範囲で構いませんので、教えていただければと思います。

(スライド44枚目)

○毛利参考人 これは日本自動車研究所のシミュレーターですが、ここに書いてあるように、モーション付きで、反力もあって、グラフィックスも分解能がいいというものです。中に入っている車は、1,800ccクラスのセダン型乗用車で、この性能については、一般的なものとされています。左下の図が構成図です。一般的なドライビングシミュレーターで、キャビン、ホスト計算機があって、いろいろな情報がグルグル回って、キャビンでそれを実現するものです。左上の写真が、下の稼働部はスチュワート機構というものですが、油圧でこれを動かして、それに支えられたキャビンの中に人が乗っています。乗っている

人が見ている画面というのは、右上の写真のような画面になります。

実施時期は、1998年4月が論文受付で、シミュレーターができたのは1995年ですので、その3年間の間のどこかで行われた実験です。

(スライド45枚目)

被験者は男性20名、女性5名で、平均年齢はスライドに記載のとおりです。日常的に運転するドライバーが参加しています。

○虫本幹事 ありがとうございます。その関係で1点質問です。

1995年から1998年ぐらいまでの1,800ccクラスのセダン型乗用車に相当する性能のシミュレーターで行われた実験ということで、そこから、25年ぐらい経っていて、車の性能、何か物理的な機構が改良されたとか、何か電子制御機構が向上したとか、そのようなものが多分、この間大分なされていると思うので、今の社会で使われている車の性能に近付けて同じような実験をもししたとした場合に、そのステップ1のところ、何か数値が変わったりする可能性があるのかということについて、もし分かればお聞きできればと思います。

○毛利参考人 ステップ1の実験では、車両の性能は問いません。3.4秒、2.7秒で回避できる車ということしか条件は置いていませんので、当然、昔の車でも今の車でも十分できます。それを決めるに当たって、車両特性というものは全く使われておりませんので、その性能によって結論が変わるということはありません。

○宮村委員 本日はありがとうございました。スライドの38枚目について確認をさせていただきたいと思います。

1.67という数値について、御紹介いただいた実験によると、ある速度では誰でも回避できる外乱が、1.67倍の速度ではぎりぎり回避可能ということになると、そのような趣旨と伺いました。そうすると、このグラフは、横軸の速度の1.67倍の速度になると、ぎりぎり回避可能になるということを示しているものと理解させていただきました。グラフの横軸に制限速度と書かれていまして、制限速度がどう定まっているかというのは、今の話とまたちょっと別の話かと思うのですが、横軸を制限速度とした御趣旨を教えてください。

○毛利参考人 制限速度の最大値で走っていることを前提として外乱を生成したということです。制限速度が時速40キロメートルでも、時速30キロメートルで走っている人も多くいるわけですが、計算に使っているのは、制限速度が時速40キロメートルの道路を時速40キロメートルで走って外乱に遭ったという意味です。

○宮村委員 そうすると、制限速度が何キロと定まっているかではなくて、横軸の速度で走ったときという趣旨であり、制限速度という記載自体に意味があるわけではないということですね。

○毛利参考人 走行していた速度です。

○合間委員 毛利先生、今日は本当にありがとうございました。

今日、時間がなくて説明を割愛されたというお話があつて、それを聞くのも少し恐縮なのですが、今回は操舵で外乱空間を生成するというような形だったと思うのですが、低い速度だと制動の方がより回避できるというお話もありましたけれども、その制動を前提としたその外乱空間を生成して、物理的なモデルを使って危険運転速度を算出するというよう

な、今日御説明いただいた二つのステップを踏むような検討というのは、そもそも可能なのでしょうか。

(スライド46枚目)

○毛利参考人 可能です。一応準備してきました。

制動の場合は、一般の人が、外乱が出現したときに、どのようにブレーキを掛けているかという、まずその前提を置きます。一般的な急ブレーキは、確立されたものではありませんが、いろいろな文献では0.3Gとされています。この0.3Gで止まれるようにして外乱空間を作ると、59メートルになります。今度はフルブレーキを掛けます。フルブレーキが0.8Gなので、この距離で止まれる車速というのを計算すると、時速96キロメートルでした。

(スライド47枚目)

制動で外乱を生成した場合についても、制動で回避する場合と操舵で回避する場合がありますが、制動で外乱を生成して操舵で回避するとすると、このグラフの緑線のような形になります。

これを見ると、操舵回避であれば高速度でも回避できてしまうのではないかと思われるかもしれませんが、ここで生成される外乱空間は、時速90キロメートルで123メートル先、時速120キロメートルで212メートル先、時速180キロメートルに至っては416メートル先なのです。416メートル先だったら、通常、操舵で車線変更して避けるだろうということで、あまり現実的でないかと思っています。一方で、低速側はどうかというと、操舵では車が動かないので、制限速度よりも下げないと避けられないという、変なことが起きてしまいます。

こうしたことから、制動で外乱を生成して操舵で回避するパターンは検討から外し、残りの制動で外乱を生成して制動で回避するというパターンについて考えてみました。

(スライド48枚目)

このグラフの青線が、先ほどから説明している操舵で外乱を生成し、操舵で回避する場合です。赤線が操舵で外乱を想定し、制動で回避する場合です。

今お話しした、制動で外乱を生成して制動で回避する場合は、ピンクの線になります。一般人が普通の運転でどうやって避けているかという情報も全くないわけです。グラフ右上方の★部分、青線とピンクの線に囲まれた領域でしたら操舵で外乱生成、操舵で回避なら回避できるし、グラフ左下方の★部分、赤線と青線に囲まれた領域でしたら操舵で外乱生成、制動で回避なら回避できるわけですが、とにかく何らかの方法で回避できる余地のあるところは、回避可能領域と定義しておき、この何らかの方法で回避できる領域をグラフでは緑で塗りつぶしています。その領域から外れる速度を危険運転速度とするのがよいのではないかというのが、私の考えです。

ですから、今御質問があったこのピンクの線というのは、実はあまり関係なく、今日お話しした内容の結論は変わらないということになります。

○齊藤幹事 毛利先生、ありがとうございました。私からは、いささか付け足し的な質問になりますが、1点確認しておいた方がよいと思う点を申し上げたいと思います。

それは、本日御説明いただいた内容は、四輪車に限らず二輪車にも妥当するのかという点でございます。といいますのも、危険運転致死傷罪における自動車は、新設当初は四輪以

上という限定がありましたが、その後そのような限定は取り払われて、現行の各種危険運転致死傷罪の犯罪類型は、四輪であれ二輪であれ、同じ基準が当てはまるという前提で設計されていることから、仮に高速度類型に一律の数値基準を設定するという場合は、それが四輪と二輪の違いにかかわらず、同等に妥当するものであることを要すると思われます。

そこで、二輪車の制動回避又は操舵回避の困難さは、どのように評価されることになるのか。より具体的に言いますと、四輪車と二輪車で同じ数値基準を設定することが、工学的な車両制御の観点から妥当と見得るのかどうかについて、先生のお考えを御教示いただければと存じます。

○毛利参考人 私自身は、二輪については専門ではありませんが、調べたところによりますと、四輪の方が回避性能が高いか、少なくとも同等以上という結論になりそうです。ですから、四輪で危険運転速度を決めておけば、それは二輪車だったら避けられるということにはならないと思っています。

(スライド49枚目)

スライド中央付近の枠の中で「回避係数」と書いてありますが、これは横に1メートル動くのに何秒掛かるかという係数です。具体的には、1メートルを変位値として、横に動くのに要する直進距離を車速で割ったものです。

下にグラフがあって、青線が二輪、赤線が四輪です。この四輪のSUVの値については、私は、かなり疑問を持っていますが、総じて、車線変更に要する時間というのは、二輪の方が長く四輪の方が短いということが言えます。

車線変更するのには四輪の方が早いのですが、二輪車は車体が小さいので、うまくすり抜けられるというメリットはあります。また、内側に傾くため、上半身が障害物に接触するということがありません。いいところもあれば悪いところもあるということです。これは、「自動車技術会二輪車の運動性能部門委員会」が出している本の中の記述ですが、二輪車側にちょっと寄った表現になっています。別の教材を見ると、かなり違くと、四輪の方が圧倒的にいいというふうに紹介されている教育用のビデオもあります。

ですので、四輪が二輪に対して劣るというエビデンスはまずなく、二輪は同等か同等以下と考えておいて差し支えないと考えています。

○宮村委員 先ほどの虫本幹事からの車種のことについての質問に関して、もう一度伺わせていただきたいと思います。先ほど、今回の御説明の基になった実験について、車種には依存していないので、車種が変わったから結果が変わるということはないというような御説明を頂いたのですが、車種によって、制動の性能が変わるということも、一般論としてあり得ると思うのです。仮定になりますが、今回の実験で異なる車種のシミュレーターを使った場合に、回避時間が短くなるとか長くなるとか、そのように変わる可能性がないのかというところについて、もう一度御説明を頂戴してもよろしいでしょうか。

○毛利参考人 総回避時間が3秒という話は、シミュレーターの車両を使って求めているから、そのシミュレーターの車両が変わったときに、その値が変わってくるのではないのかという御質問だと思いますが、その可能性はなくはないと思います。ただ、では、本当かと言われると、それは分かりません。いろいろな文献を調べましたが、他にはそのような実験は見当たりませんでした。したがって、3秒や3.4秒というパラメーターが多少動く可能性はあるかとは思いますが、似たような実験というのがなかったものですから、この数値

を使うこととしたものです。ただ、これであればそれ程間違いないだろうと思っています。

○合間委員 車の性能の関係で、シミュレーターではなくて、現実の車として、軽自動車から大型トラック、スポーツカーなどがあると思いますが、今回の定量化に関して、車の性能によって値が大きく前後するということがあり得るのか、それとも、それは先ほどのシミュレーターの話ではないですけれども、違い得るかもしれませんが、そこまでではないということになるのか。もしお答えを頂けるのであれば教えていただければと思います。

○毛利参考人 先ほどの御質問との違いは、どういうことでしょうか。

○合間委員 宮村委員からの御質問は、シミュレーターでの車の違いということだったのですが、現実には走っている車として考えたときに、結果として、軽自動車だったり大型トラックだったりスポーツカーだったり、そういった車種による違いが生じてくる可能性があるのか、それほど変わらないのかということです。

○毛利参考人 少なくとも、乗用車に関してはあまり変わらないと思っています。ただ、バスやトラックになってくると性能が大きく変わってきますので、乗用車で全部の基準を作ってしまうと、バスとかでは、算出された速度で障害物を避けることは無理だろうという気がします。

○今井部会長 ほかに御質問ないようですね。

なければ、ヒアリングはこれで終了とさせていただきます。

毛利様、本日は貴重なお話を頂戴いたしまして、誠にありがとうございました。お話しいただいた内容につきましては、今後の検討に役立ててまいりたいと思います。

それでは、本日の審議はここまでとしたいと思います。次回会議におきましては、諮問事項「二」の高速度類型、諮問事項「三」のドリフト走行類型に関し、御議論を行っていただくこととしたいと考えておりますが、そのような進め方とさせていただくことでよろしいでしょうか。

(一同異議なし)

ありがとうございます。それでは、そのようにさせていただきます。

本日予定していた議事につきましては、これで終了いたしました。本日の会議の議事につきましては、原則的な方針としては、発言者名を明らかにした議事録を作成するとともに、説明資料等についても公表することとさせていただきたいと思います。もっとも、御発言内容を改めて確認し、ヒアリング出席者の御意向も伺った上で、プライバシー保護等の観点から非公表とすべき御発言等があると認められる場合には、該当部分を非公表としたいと考えております。それらの具体的な範囲や議事録等の記載方法については、発言者、発言をされた方との調整もありますので、部会長である私に御一任いただきたいと思いますがいかがでしょうか。

(一同異議なし)

それでは、そのようにさせていただきます。

本日の会議はここまでとしたいと思います。

次回の予定について、事務局から説明をお願いいたします。

○猪股幹事 次回の第4回会議は、令和7年7月28日月曜日午後3時30分からを予定しております。詳細につきましては、別途御案内申し上げます。

○今井部会長 本日はこれにて閉会といたします。どうもありがとうございました。

—了—