

速度の誤判断を考慮した 交通事故危険度推定モデルに関する基礎的研究

田村 洋一*・石光 毅**

A Risk Estimating Model for Traffic Accident Based on the Human Error in Judgement on Vehicular Traffic Speed

Youichi TAMURA and Tsuyoshi ISHIMITSU

Abstract

Recent every year, more than ten thousand people have been killed and about eighty hundred thousand peoples have been injured on roads in Japan. Many of those traffic accidents are caused not only by careless or reckless behaviors but also by human errors concerning with drivers and pedestrians. The typical human errors concerned with traffic accidents are made in judgement on speed and distance of oncoming vehicles, e.g., right-turn drivers at intersections often made errors of judgement on vehicular speed and headway of oncoming vehicles, and pedestrians frequently select too short headway to across a road as a results of underestimate of vehicular speeds. To decrease traffic accidents resulted such human errors, it is required to provide more definite informations on the relationships between the human error and danger of traffic accidents. We developed a probabilistic model to estimate the risk of traffic accident caused in pedestrians road crossing based on the error of judgement on vehicular speed and headway. Some results of the model culculation are also shown and discussed in this paper.

1. はじめに

日本における交通事故発生の動向を振り返れば、Table 1 に示すように、おおむね 5つの期間に区分することができる。

第I期は1945年(昭和20年)以前の自動車低普及期で、自動車普及台数は全国で20万台前後、交通事故による死者数も年間 2,000~3,000 人台のレベルにあった。第II期は交通事故死者数が1万人を超過した1960年(昭和35年)頃まで期間で、車の普及と交通事故が漸増し始めた時期である。このI~II期は自動車交通の揺籃期と位置付けることができる。

第III期は1960年から1970年(昭和45年)頃までの第

I次交通戦争時代で、自動車交通と交通事故死傷者が激増した。第IV期は、1970年以降1980年(昭和55年)頃までの道路整備や交通安全対策が進行し、その効果が顕著に現れた時期である。交通事故死者数はその末期にピーク時の約半分へ減少した反面、減少に停滞傾向が見え始めた。

1980年以降交通事故死者数は増加に転じ、1988年には再び1万人を突破し、翌年政府が交通事故非常事態宣言を発するに至った。この第2次交通戦争の時代を第V期としてよいであろう。

今後の交通安全対策を考えると、第III期の交通事故急増・多発期と現在とでは、交通事故の増加に関わる背景が大きく異なっている。すなわち、現在の自動車交通を取り巻く諸環境は飛躍的に向上している。にも関わらず、交通事故が増加しているところに深刻さがある。これは、従来の交通安全対策を強化するのみでは、交通事故の大幅な減少を期待できないことを意

*社会建設工学科

**富士通九州システムエンジニアリング

味している。したがって、交通事故形態に応じて事故の発生要因を詳細に分析、把握して、新たな安全対策を開発することが一層重要である。

このような観点から、本研究では人身事故の動向を分析するとともに、交差交通間に生じる事故について人間の速度に対する誤判断の影響について考察する。その上で、歩行者横断時の交通事故を対象として、誤判断に起因する事故の危険度を推定する基礎的な確率モデルを定式化する。また、これを用いて歩行者の道路横断形態と交通事故危険度の関係の分析を行うものである。

2. 交通事故動向

2.1 人身事故の経年変化¹⁾

交通事故死者数が初めて 1 万人を超えたのは、1959 年（昭和34年）のことで、年間死者数10,079人、負傷者数175,951 人であった。また、自動車普及台数は約 260万台、自動車 1万台当たりの死者数は37.4人、負傷者数は652.6 人、人口10万人当たりの死者数は10.9人、負傷者数は189.9 人であった。

その後時代は交通事故急増期に向かい、Table 1 に示すように、1970年（昭和45年）には死者数16,765人で1959年の 1.66 倍、負傷者数は 981,096人で同 5.56 倍に達し、史上最悪の事態を生じた。なお、1959年までの統計には軽傷事故が含まれておらず、負傷者倍率はやや過大になっている。同年の自動車普及台数は約 1,860万台で同7.15倍と約十年間に大幅な伸びを示している。またこの間、自動車1 万台当たりの死傷者数は減少したが、人口10万人当たりの死傷者数は逆に増加している。

1970年をピークに交通事故死者数は着実に減少し始め、1979年（昭和54年）には 8,466人に半減、負傷者も59万人まで減少した。とくに自動車 1万台当たりの死者数、負傷者数の減少は顕著で、それぞれ 2.3人（ピー

ク時の約4 分の1）、160.9 人（同 3.3分の1）に低下した。また、人口10万人当たりの死者数も 7.3人に、負傷者数は 513.8人へ大きく減少した。この年の自動車保有台数が約3,718 万台で1970年の約 2倍に増加していることをみれば、この時期に道路交通の安全性が飛躍的に上昇したといえる。

しかし、1979年を境に交通事故は増加に転じ、1988 年以降交通事故死者数は再び1 万人を超えるようになった。1991年（平成 3年）の死者数は11,105人で1979年の1.3 倍へ、負傷者数は810,245 人で1.36倍へ大きく増加している。とくに、負傷者数は第1 次交通戦争時代のレベルに近づきつつある。自動車1 万台当たりの死者数は1.8 人と1979年のレベルより低下しているが、最近約 7年間は減少に頭打ちが生じている。負傷者数の減少率も低下している。人口10万人当たりの死傷者数は増加してきている。

1991年の自動車保有台数は1979年の約1.7 倍で、死者数、負傷者数の増加率はこの値より多少低くなってはいるが、自動車 1万台当たりの死傷者数は横ばい傾向にあり最低値に達したと判断できる。これは、車の増加に比例して事故が増加する状況に至っていることを意味している。これに対して、最悪の交通事故死傷者数を記録した1970年のデータと1960年のそれを比較すると、死者数、負傷者数の伸びはそれぞれ1.39倍、3.39倍で、自動車保有台数の伸び 6.9倍を大きく下回っている。この10年間で短期間に自動車が増加した時代であったことを考えれば、道路および交通安全対策が大きく進展していながら、自動車の増加割合と交通事故死傷者の増加割合との差が縮小している現状は一層深刻である。

2.2 交差交通間の事故

交通事故を当事者関係によって分類すれば、人対車両事故、車両相互事故、車両単独事故の三種類に分けられる。また、交通行動上の関係から分類すれば、車

Table 1 Secular statistics of traffic accidents and registered vehicles

| | Year | Total Number of Accidents | Casualties | | Registered Vehicles | Casualties per 10,000 registered vehicles | | Casualties per 100,000 persons | |
|-----------|-------|---------------------------|------------|---------|---------------------|---|---------|--------------------------------|---------|
| | | | Killed | Injured | | Killed | Injured | Killed | Injured |
| Stage I | ~1945 | 8,706 | 3,365 | 9,094 | 144,351 | 233.1 | 630.0 | 4.7 | 12.6 |
| Stage II | 1960 | 449,917 | 12,055 | 289,156 | 3,302,072 | 36.5 | 875.7 | 12.9 | 309.5 |
| Stage III | 1970 | 718,080 | 16,765 | 981,096 | 18,586,503 | 9.0 | 527.9 | 16.0 | 937.4 |
| Stage IV | 1980 | 476,667 | 8,760 | 598,719 | 38,938,996 | 2.2 | 153.8 | 7.5 | 511.5 |
| Stage V | 1991~ | 662,388 | 11,105 | 810,245 | 62,890,623 | 1.8 | 128.8 | 9.0 | 653.2 |

両単独事故以外のものは、交差交通間の事故とそうでないものに大別できる。人対車両事故のうち、歩行者の道路横断時に生じる事故は交差交通間の事故で、対面・背面通行中や路上での遊戯・作業中に生じる事故とは事故原因の性格が異なる。すなわち、交差交通間において、歩行者やドライバーは相互間の距離および接近速度の判断にもとづいて自身の行動を決定する。したがって、その判断に誤りが事故の危険性を生み出すことになる。

車両相互の事故においても、このような考え方による事故の類型化が可能で、出会い頭衝突、交差点での右・左折時衝突事故などの交差交通間の事故は、追越時その他の正面衝突、追突、すれ違い時衝突などの事故とは性格が異なる。一方、合流時や車線変更時に生じる事故は、交差交通間の事故の性格を有するものである。

以上の分類にしたがって、交通事故（人身事故）の発生件数に関するデータを最大発生時の1970年、最小

発生時の1980年および最近の1991年についてまとめたのがTable 2 である。

全体的傾向について、全事故数を1970年を100とした指数でみれば、1980年は66.4へ大きく減少しているが、1991年には92.2に上昇し1970年のレベルに近い数値になっている。一方、人対車両事故の1980年の指数は55.3、1991年は47.5と年々減少している。車両対車両の事故は、1980年の指数は71.8に減少しているが、1991年には110.1と大きく増加している。このように人対車両事故が減少傾向にあるのに対し、車両対車両事故が大きく増加しており、これが最近の事故増加の中心をなしている。

次に、人対車両事故の内容をさらに詳しく考察しよう。いずれの年でも交差交通間の事故（交差点、交差点近傍、その他の場所での横断時の事故）が人対車両事故の70%強を占めている。これらの中で、最も多いのは単路部での横断時の事故で、1970年と1980年の両年は人対車両事故の50%強、1991年では40%強を占

Table 2 Traffic accidents concerning with crossing, entering and turning actions

| Types of Accident | Types of Action | | 1970 | | 1980 | | 1991 | | |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-----|
| | | | Number | % (2) | Number | % (2) | Number | % (2) | |
| | | | % (1) | % (3) | % (1) | % (3) | % (1) | % (3) | |
| Pedestrians v.s. Vehicles | Crossing or Entering | At Intersection | 25,308 | 14.2 | 15,602 | 16.5 | 18,329 | 22.6 | |
| | | | 100.0 | 3.5 | 61.6 | 3.3 | 72.2 | 2.8 | |
| | | Near Intersection | 5,505 | 5.6 | 5,981 | 6.3 | 5,712 | 7.0 | |
| | | | 100.0 | 1.3 | 62.9 | 1.3 | 60.1 | 0.9 | |
| | | Between Intersections | 90,557 | 52.9 | 49,264 | 52.2 | 33,907 | 41.8 | |
| | | | 100.0 | 12.6 | 54.4 | 10.3 | 37.4 | 5.1 | |
| | | Subtotal | 125,370 | 73.3 | 70,847 | 75.0 | 57,948 | 71.4 | |
| | | | 100.0 | 17.5 | 56.5 | 14.9 | 46.2 | 8.7 | |
| | | Others | 45,657 | 26.7 | 23,655 | 25.0 | 23,210 | 28.6 | |
| | | | 100.0 | 6.4 | 51.8 | 5.0 | 50.8 | 3.5 | |
| | Subtotal | 171,027 | 100.0 | 94,502 | 100.0 | 81,158 | 100.0 | | |
| | | 100.0 | 23.8 | 55.3 | 19.8 | 47.5 | 12.3 | | |
| Vehicles v.s. Vehicles | Crossing or Entering | | 100,297 | 20.4 | 105,286 | 29.8 | 184,643 | 34.1 | |
| | | | 100.0 | 14.0 | 105.0 | 22.1 | 184.1 | 27.9 | |
| | Turning | Right Turning | 70,873 | 14.4 | 48,618 | 13.7 | 60,391 | 11.1 | |
| | | | | 100.0 | 9.9 | 68.6 | 10.2 | 85.2 | 9.1 |
| | | Left Turning | 17,978 | 3.6 | 22,514 | 6.4 | 26,270 | 4.8 | |
| | | | 100.0 | 2.5 | 125.2 | 4.7 | 146.1 | 4.0 | |
| | | Subtotal | 189,148 | 38.4 | 176,418 | 49.9 | 271,304 | 50.0 | |
| | | | 100.0 | 26.3 | 93.3 | 37.0 | 143.4 | 41.0 | |
| | | Others | 303,773 | 61.6 | 177,430 | 50.1 | 271,190 | 50.0 | |
| | | | 100.0 | 42.3 | 58.4 | 37.2 | 89.3 | 40.9 | |
| | Subtotal | 492,921 | 100.0 | 353,848 | 100.0 | 542,494 | 100.0 | | |
| | | 100.0 | 68.6 | 71.8 | 74.2 | 110.1 | 81.9 | | |
| | Others | 54,132 | — | 28,327 | — | 38,736 | — | | |
| | | 100.0 | 7.5 | 52.3 | 5.9 | 71.6 | 5.8 | | |
| | Total Accident Number | 718,080 | — | 476,677 | — | 662,388 | — | | |
| | | 100.0 | 100.0 | 66.4 | 100.0 | 92.2 | 100.0 | | |

% (1), (2) and (3) are the percentage for the value in 1970, the subtotal of each type of accidents and the total accidents, respectively.

めている。次いで多いのが交差点横断時の事故で1991年で約23%であり、交差点近傍での横断時の事故は7.0%である。しかし交差点およびその近傍での事故は増加傾向にあり問題になるところである。

歩行者の道路横断時の事故が全事故中に占める割合は、1970年で17.5%、1980年で14.9%、1991年が8.7%と着実に減少しつつあり、また、全事故中に占める割合も高くない。しかし、この種の事故は死亡事故など重大事故に結びつきやすく、この意味から年間8万件以上も生じているのは今なお大きな問題である。

車両対車両事故では、出会い頭衝突が1970年20.4%、1980年29.8%、1991年34.1%と高い割合を占め、しかも、割合的に増加するのみでなく件数的にも1970年を100とした指数で1991年が184.1と近年大きく増加している。交差点の右・左折時に生じる事故は、それぞれ1970年14.4%と3.6%（計18.0%）、1980年13.7%と6.4%（計20.1%）、1991年11.1%と4.8%（計15.9%）で割合からみれば近年減少している。しかし、発生件数は右折時の事故の指数が1980年68.6、1991年85.2と最近増加傾向にあり、左折時の事故は1980年の125.2から1991年の146.1へ一貫して大幅に増加している。

これらの交差交通間の事故が車両対車両事故に占める割合は、1970年で38.4%、1980年で49.9%、1991年で50.0%あり、件数を指数で見ると1980年93.3、1991年143.4となっており最近の増加が著しい。また、全事故中に占める割合も1991年で41.0%と高い割合を占めている。

人対車両事故と車両対車両事故における交差交通間の事故を合わせると、1970年43.8%、1980年51.9%、1991年49.7%とほぼ半数を占めている。また、事故件数についての指数をみれば、1970年を基準にして1980年で78.6、1991年104.7と最近では1970年の水準を上回っている。

以上のように、交差交通間の交通事故は交通事故の

中で大きな位置を占めている。したがって、その発生メカニズムと影響要因との関係を明らかにし、合理的な交通事故防止対策を立案することが、事故発生および被害の減少を図る上で重要な課題になる。

3. 交通事故危険度推定モデル^{2),3)}

3.1 速度の誤判断と交通事故との関係

交差交通間の事故に直接的に作用するのは、歩行者およびドライバーの相手側交通との距離および速度に対する判断の適否である。これを、歩行者横断時を対象に考察しよう。

歩行者が横断しようとする場合(Fig.1 参照)、その行動は、①車の接近をまったく確認せず飛び出し横断する場合と、②車の接近を確認し横断可能なギャップが見出されたとき横断を開始する場合の2通りに分けることができる。①の行動が大きな危険を伴うことは明らかであるが、②の安全確認を行った場合でも常に安全が保証されるとは限らない。なぜならば、ギャップの選択に判断の誤りが含まれることが否定できないからである。

一般に、歩行者は横断の可否を、自分が道路の横断に要する時間と接近車両との距離との関係に関する過去の経験に基づいて判断している。これらの判断に誤りが生じるとき、本人は安全確認したにも関わらず危険な行動を起こすことになる。このような判断の誤りは、通常より極端に速度の高い車が出現した場合や、道路改良などにより急に交通流の速度が上昇するといった場合に生じやすい。例えば、山口警察署のヒアリング調査によっても、バイパス拡幅工事完了直後に事故に遭った横断歩行者から「渡れると思ったのに車が思ったより早く来た」、また、横断車をはねたドライバーから「自分の車が横断地点に着くまでに歩行者が横断し終ると思っていた」といった証言が得られている⁴⁾。前者は歩行者が接近車両と自分の横断速度（横断所要時

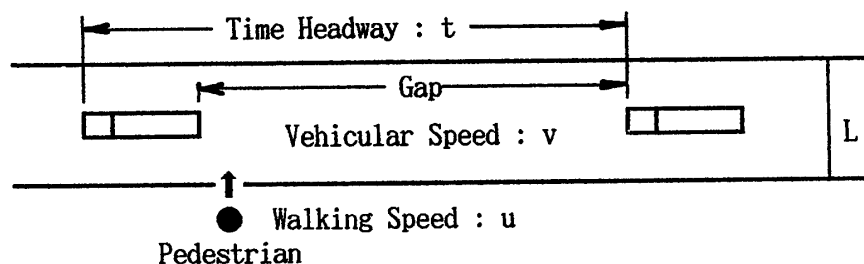


Fig. 1 Variables concerning with model building

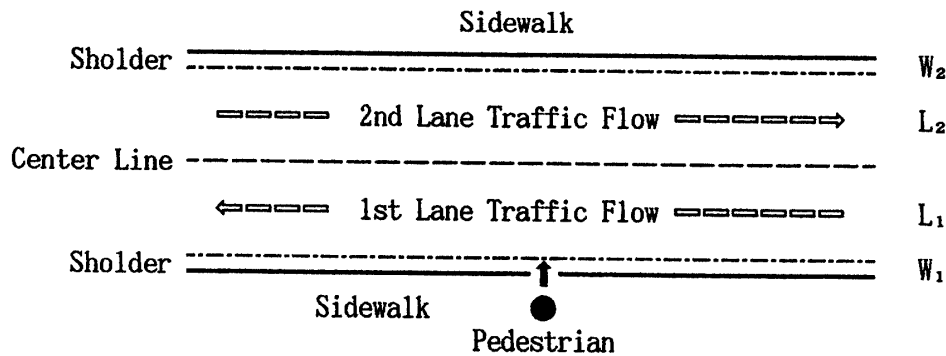


Fig. 2 Condition of a 2-lane road

間)の判断を誤った結果であり、後者はドライバーが自らの速度と歩行者の横断速度を誤って判断したものと考えることができる。

3.2 モデル構築の考え方と基本仮定

本節では、Fig.2 に示す2車線道路を対象に歩行者横断時の危険度を推定するモデルの定式化を行う。

まず、第1車線(手前側車線)を横断する場合を考えよう(Fig.1参照)。交通流中に横断所要時間より大きな車頭時間が見出されたとき歩行者は横断可能になる。そこで、横断所要時間を C_t とすれば、 C_t は歩行速度 u と車線幅員 L により定まる、

$$C_t = L/u \quad (1)$$

このとき、横断歩行者が選択した車頭時間を t とすると、 $t \geq C_t$ であれば事故は生じない。一方、 $t < C_t$ の場合は事故が生じることになる。したがって、歩行者が横断しようとしている車線交通流の車頭時間分布の確率密度関数を $H(t)$ とすれば、歩行者が交通流中に横断可能な車頭時間を見出す確率 P は次式で与えられる(Fig.3参照)。

$$P = \int_{t_c}^{\infty} H(t) dt \quad (2)$$

ここに、 $t_c = C_t = L/u$ で、以下これを横断限界車頭時間と呼び、式(2)で与えられる P を横断可能確率と呼ぶことにする。

本研究では、式(2)を基本式として以下に示す仮定の下で、2車線道路横断時の危険度推定モデルを定式化する。

①横断中の歩行速度は一定とする。

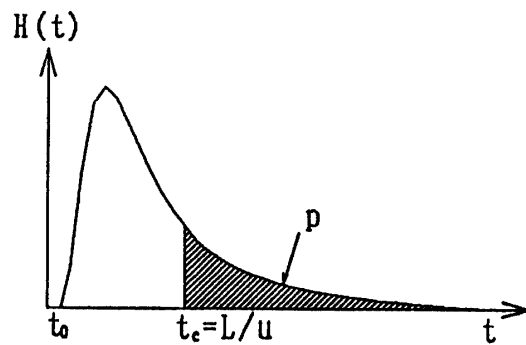


Fig. 3 Probability of road crossing

- ②歩行者は最短経路に沿って横断する。すなわち、道路を直角横断し、斜め横断しない。
- ③車が横断地点に到着したとき歩行者が横断を完了していなければ、そのときの位置に関係なく衝突(事故)が生じる。
- ④事故は車線内のみで生じ、路肩や中央分離帯その他の場所では生じない。
- ⑤ドライバーのブレーキング、ハンドル操作などによる事故回避行動はないものとする。

上記の仮定を現実と比較、検討すれば、仮定②、④は妥当と考えられる。しかし、歩行者は横断開始後危険を感じた場合、歩速を早める、遅くする、立ち止まる、引き返すなどして事故の回避を図ろうとするであろう。また、横断歩行者を発見したドライバーは、必要に応じてブレーキングやハンドル操作などによる事故回避を試みるであろう。仮定①、③、⑤はこのような回避行動の効果を考慮しないとするものである。このことは、事故危険度を過大に推定する方向に作用

するが、とくに仮定⑤の影響が大きいと考えられる。したがって、これらの仮定は最も危険側の条件を設定したものといえる。

3.3 飛び出し横断時の危険度推定モデル

まず第1車線の横断について考える。車線横断所要時間を C_{t1} 、第1車線の交通流の車頭時間分布の確率密度関数を $H_1(t)$ とすれば、この車線の横断可能確率 P_1 は式(2)、(3)に C_{t1} 、 $H_1(t)$ を代入することで直ちに求められる。ところで、これは事故を起こすことなく横断が完了する確率であり、このような確率を安全度と呼ぶこととし、これ以後記号 s であらわすことにする。これより、飛び出し横断時の第1車線での安全度 s_1 が次式で与えられる。

$$s_1 = \int_{t_{c1}}^{\infty} H_1(t) dt \quad (3)$$

ここに、 $t_{c1} = C_{t1} = L_1/u$

一方、 $t < t_{c1}$ の場合には、歩行者は横断途中で車と衝突することになる。このような確率を危険度と呼び記号 r で表すことにすれば、第1車線の飛び出し横断時の危険度 r_1 は次式で与えられる。

$$r_1 = \int_{t_0}^{t_{c1}} H_1(t) dt = 1 - s_1 \quad (4)$$

ここに、 t_0 は最小車頭時間である。

第2車線における横断についても同様に式(3)、(4)のサフィックスを2に置き換え表すことができる。

次に道路全断面における安全度 S_T 、危険度 R_T 、第1、第2車線での危険度 R_1 、 R_2 を求めよう。2車線道路横断時に事故が生じる事象は、

- ①車線1、2のいずれにおいても事故に遭わない(安全に横断を完了する)、
 - ②車線1を安全に横断した後車線2で事故に遭う、
 - ③車線1で事故に遭うが車線2では事故に遭わない、
 - ④車線1、2の両方で事故に遭う、
- の4通りである。このうち、ケース①のみが安全に横断を完了する場合で、その他はいずれも事故に遭遇することになる。また、第1車線で事故に遭った場合、歩行者が第2車線に至ることは実際上ありえないから、③、④のケースは第1車線で事故が生じることを意味している。そこで、車線1、2における横断行動が互いに独立であると仮定すれば、第1、第2車線の横断時に事故に遭う確率をそれぞれ r_1 、 r_2 、事故に遭わない確率を s_1 、 s_2 とするとき、 S_T 、 R_T 、 R_1 および R_2 が次のように求められる。

$$\left. \begin{aligned} S_T &= s_1 \cdot s_2 \\ R_T &= 1 - s_1 \cdot s_2 = 1 - S_T = R_1 + R_2 \\ R_1 &= r_1 \cdot s_2 + r_1 \cdot r_2 = r_1 \cdot (s_2 + r_2) = r_1 \\ R_2 &= s_1 \cdot r_2 \end{aligned} \right\} (5)$$

したがって、式(3)、(4)を適宜に式(5)に適用すればよい。

ところで、一般に道路構造は横断方向で対称であるから $t_{c1} = t_{c2} = t_c$ とみなしうる。これに加えて、分析対象の道路で $H_1(t) = H_2(t) = H(t)$ とみなしうる場合には、 S_T はの計算式は次のように単純化され、 R_T の計算にもこの値を用いばよい。

$$S_T = \left[\int_{t_c}^{\infty} H(t) dt \right]^2, \quad R_T = 1 - S_T \quad (6)$$

3.4 誤判断を考慮した危険度推定モデル

安全確認時の横断は

- ①横断開始前に第1、第2車線で同時に横断可能車頭時間が出現したことを確認して横断する場合(一括確認型横断)と
 - ②まず第1車線を安全確認してこれを横断した後、道路中央部で立ち止まって第2車線の安全を確認してこれを横断する(二段階確認型横断)
- が考えられる。そこで本節では、これら2つの横断形態に対して横断機会の出現確率ならびに横断時の安全度と危険度を推定するモデルを構築する。

(1) 横断機会の出現確率

a) 一括確認型横断の場合

このタイプの横断形態では、横断歩行者は第1車線に $t > t_{c1} = C_{t1}$ 、第2車線に $t > t_{c1} + t_{c1} = C_{t1} + C_{t2}$ なる車頭時間が同時に見出されたとき横断を開始する考えるのが妥当であろう(Fig.4参照)。したがって、この場合の横断可能確率 P_s は次式で計算できる。

$$P_s = \int_{t_{c1}}^{\infty} H_1(t) dt \int_{t_{c1} + t_{c2}}^{\infty} H_2(t) dt \quad (7)$$

なお、式(6)を求めたと同様な仮定が成立する場合、式(7)は次のように簡便化できる。

$$P_s = \int_{t_c}^{\infty} H(t) dt \int_{2t_c}^{\infty} H(t) dt \quad (8)$$

b) 二段階確認型横断の場合

この場合の横断機会の出現確率 P_w は

$$P_w = \int_{t_{c1}}^{\infty} H_1(t) dt \int_{t_{c2}}^{\infty} H_2(t) dt \quad (9)$$

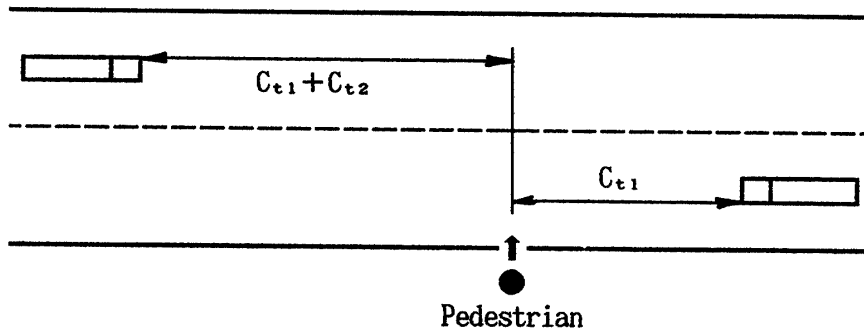


Fig. 4 Road crossing on the 2-lane road

で与えられ、式(8)を求めたと同様な仮定の下に次式を得る。

$$P_w = \left[\int_{t_c}^{\infty} H(t) dt \right]^2 \quad (10)$$

ここで、一括確認型横断と二段階確認型横断での横断機会の出現確率を比較すれば、

$$F = P_s / P_w = \int_{2t_c}^{\infty} H_2(t) dt / \int_{t_c}^{\infty} H_2(t) dt < 1 \quad (11)$$

となり、二段階確認型横断の横断機会の出現率が常に高くなるのがわかる。

(2) 安全度・危険度推定モデル

横断に利用可能な車頭時間を選択する際、歩行者が過って横断所要時間を実際より短く（横断歩行速度を実際より高く）、あるいは車の接近速度を実際より低く判断した場合、実際の横断所要時間に対して過小な車頭時間が選択されることになり、事故の危険性が生じる。この誤って選択された車頭時間 t_{cr} を誤認危険車頭時間と呼ぶこととする。

横断歩行速度および車の接近速度に関する誤判断に起因する危険度を模式的に表したのがFig.5である。図中、網掛け表示した部分が交通事故発生に関わる部分で、これより交通事故危険度および安全度が次のように表される。

$$r = \int_{t_{cr}}^{t_c} H(t) dt / \int_{t_{cr}}^{\infty} H(t) dt \quad (12)$$

$$s = \int_{t_c}^{\infty} H(t) dt / \int_{t_{cr}}^{\infty} H(t) dt \quad (13)$$

上記各式を計算する上で問題となるのは t_{cr} の値であり、以下、その求め方について説明する。

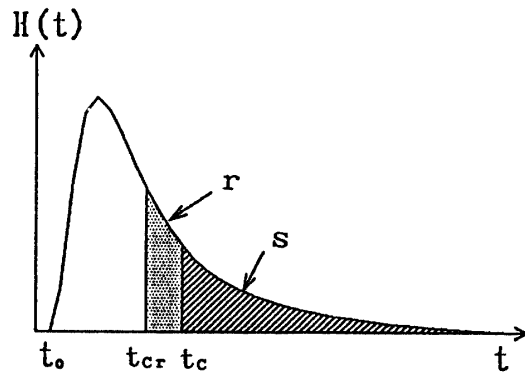


Fig. 5 Accident probability and the error of judgment on pedestrian walking speed and vehicular speed

歩行速度 u が過大な速度 u_r ($u_r > u$) に誤認された場合の横断所要時間は、

$$C_{tr} = L / u_r = L / (\Delta u + u) \quad (14)$$

となり、過小な車頭時間 $t_{cr} = C_{tr}$ ($< t_c$) が選択されることになる。なお、 $\Delta u = u_r - u$ は歩行速度の誤認量である。

次に車の速度を誤認した場合について検討しよう。車の接近速度が v であるとき、限界車頭時間に対する距離は次式で計算される。

$$D_c = C_t \cdot v \quad (15)$$

一方、歩行者が車の接近速度を実際より低い v_r と判断した場合には、横断地点から車までの距離として

$$D_{cr} = C_t \cdot v_r \quad (16)$$

が選択されることになる。これに対する実際の車頭時間は限界車頭時間より小さくなり、誤認危険車頭時間で次式によって与えられる。

$$t_{cr} = D_{cr}/v = C_1(v_r/v) = C_1(1-\Delta v/v) \quad (17)$$

ここに、 $\Delta v = v - v_r$ は速度の誤認量である。

次に、歩行速度と車の速度の両方を同時に誤認した場合を考えよう。この場合は、式(17)の C_1 に対して式(14)で計算される C_{cr} を代入すれば誤認危険車頭時間が計算でき次のとおりである。

$$t_{cr} = \left. \begin{aligned} & (L/u_r) \cdot (v_r/v) \\ & = \{L/(\Delta u + u)\} \cdot (1-\Delta v/v) \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

a) 一括確認型横断の場合

第1車線横断時の危険度および安全度は、式(12)、(13)と同形の次式で与えられる。

$$r_1 = \int_{t_{cr1}}^{t_{c1}} H_1(t) dt \quad / \quad \int_{t_{cr1}}^{\infty} H_1(t) dt \quad (19)$$

$$s_1 = \int_{t_{cr1}}^{\infty} H_1(t) dt \quad / \quad \int_{t_{cr1}}^{\infty} H_1(t) dt \quad (20)$$

ここに、

$$t_{cr1} = \left. \begin{aligned} & (L_1/u_{r1}) \cdot (v_{r1}/v_1) \\ & = \{L_1/(\Delta u_1 + u_1)\} \cdot (1-\Delta v_1/v_1) \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

また、第2車線における危険度 r_2 および安全度 s_2 は、上記の各式中のサフィックスを1から2に変更した上で、 t_{cr2} の代わりに次式で与えられる t_{cr2}^* を用いればよい。

$$t_{cr2}^* = t_{cr1} + t_{cr2} \quad (22)$$

こうして求められた各車線での危険度、安全度の値を式(5)に代入すれば、道路全断面横断時の事故発生確率が計算できる。

b) 二段階確認型横断の場合

この場合は、第1車線の横断に対しては、式(19)、(20)がそのまま適用できる。また、第2車線の横断に対しては、式(19)~(21)中のサフィックスを1から2へ変換したものがそのまま適用できる。道路全断面横断時の事故発生確率の計算は、一括確認横断時のケースと同様に式(5)より計算できる。

3.5 計算結果

(1) 計算条件等

本節では、各横断形態に対して定式化された危険度推定モデルによる計算結果を示す。この計算では、車頭時間分布の確率密度関数として著者らが開発した任意の交通量状態の車頭時間分布を表現し得る複合対数正規分布モデルを用いている⁵⁾⁻⁷⁾。また、この車頭時

間分布モデルのパラメータおよび交通流の速度は、著者らが国道9号線において実施してきた交通流観測によるデータにもとづいて設定した⁸⁾。歩行者の横断歩行速度に関しては、清水らの研究結果⁹⁾を参考に、歩行者を高齢者と非高齢者に分けその値を設定した。危険度に関する計算は、5、10、15、20 vpm/laneの交通量レベルに対して行った。これら一連の計算に用いた車線幅員等の道路条件、車速および歩行速度とそれらの誤認量として仮定した値をTable 3に示す。

Table 4~6に、飛び出し横断(pattern I)、一括確認型横断(pattern II)および二段階確認型横断(pattern III)における危険度の計算結果を示す。また、各横断形態における危険度を比較計算した結果をTable 7に、横断機会の出現確率の計算結果をTable 8に示す。

これらの結果を考察するとき、以下の注意が必要である。すなわち、飛び出し横断においては最初から安全確認は行われないので、誤判断の有無は危険度に関係しない。一方、安全確認が行われるケースの危険度は、安全確認して横断した歩行者の中で判断の誤りを犯し事故に遭った者の割合を与えるものである。したがって、前者と後者の値は根本的に性格が異なるもので、両者の危険度の比較は絶対的なものではない。また、誤判断を考慮した危険度推定モデルの定式化における仮定の内容から、ここに示す計算結果は直接的に事故の発生確率を与えるものでなく、相対的な危険度を評価するレベルにあると解釈せざるをえない。

(2) 横断形態と危険度および横断機会の出現率

Table 4~6に示す結果を考察すれば、いずれの横断形態においても交通量の増加とともに危険度が増すことがわかる。また、第1車線と第2車線における危険度を比較すれば、飛び出し横断時と一括確認横断時の場合、第2車線の方が危険度が大きくなるのがわかる。これは、これらの横断形態では、第2車線を安全に横断するには、第1車線横断に対する値の2倍以上の車頭時間の出現が要求されることに起因する。一方、二段階確認型横断の場合、車線による危険度に顕著な差は認められないが、これは、二つの車線での安全判断が同等な内容になることによるものである。なお、この横断形態の場合でも両車線の危険度の計算値に多少差が生じているが、これは計算に用いた車頭時間分布モデルのパラメータが車線によって若干異なることによる。

高齢者と非高齢者との危険度を比較すれば、いずれの場合においても高齢者の事故危険度が高く、歩行速

Table 3 Parameter values used in computation

| Road Width | | Vehicle and Pedestrian | | Correct | Incorrect |
|------------|-------------|------------------------|-------------|-----------|-----------|
| Sholder | 0.75 m | Vehicle | | 50.0 km/h | 40 km/h |
| Lane | 3.25 m/lane | Pedestrian | Non-old Age | 1.400 m/s | 1.503 m/s |
| Total | 8.00 m | | Old age | 1.255 m/s | 1.400 m/s |

Table 4 Accident probability in the case that pedestrian rush out in the road (Crossing pattern I)

| Accident Probability | Non-old Age | | | | Old Age | | | |
|--|---------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | Traffic Volume (vpm/lane) | | | | Traffic Volume (vpm/lane) | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| R ₁ | 0.159 | 0.227 | 0.315 | 0.419 | 0.214 | 0.298 | 0.401 | 0.515 |
| R ₂ | 0.175 | 0.256 | 0.357 | 0.471 | 0.220 | 0.319 | 0.436 | 0.560 |
| R _T | 0.306 | 0.425 | 0.560 | 0.693 | 0.387 | 0.522 | 0.662 | 0.787 |
| Ratio of R _T Values of Old Age to Non-old Age | | | | | 1.26 | 1.23 | 1.18 | 1.13 |

Table 5 Accident probability in the case that pedestrian confirm approach of vehicles on both lane at once (Crossing pattern II)

| Accident Probability | Non-old Age | | | | Old Age | | | |
|--|---------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | Traffic Volume (vpm/lane) | | | | Traffic Volume (vpm/lane) | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| R ₁ | 0.173 | 0.256 | 0.354 | 0.458 | 0.196 | 0.289 | 0.396 | 0.508 |
| R ₂ | 0.332 | 0.438 | 0.545 | 0.646 | 0.367 | 0.478 | 0.588 | 0.688 |
| R _T | 0.448 | 0.582 | 0.706 | 0.808 | 0.491 | 0.629 | 0.751 | 0.846 |
| Ratio of R _T Values of Old Age to Non-old Age | | | | | 1.10 | 1.09 | 1.06 | 1.05 |

Table 6 Accident probability in the case that pedestrian confirm approach of vehicles at each lane crossing (Crossing pattern III)

| Accident Probability | Non-old Age | | | | Old Age | | | |
|--|---------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | Traffic Volume (vpm/lane) | | | | Traffic Volume (vpm/lane) | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| R ₁ | 0.173 | 0.256 | 0.354 | 0.458 | 0.196 | 0.288 | 0.396 | 0.508 |
| R ₂ | 0.197 | 0.271 | 0.357 | 0.450 | 0.232 | 0.314 | 0.408 | 0.505 |
| R _T | 0.337 | 0.457 | 0.584 | 0.702 | 0.382 | 0.512 | 0.643 | 0.757 |
| Ratio of R _T Values of Old Age to Non-old Age | | | | | 1.13 | 1.12 | 1.10 | 1.08 |

Table 7 Comparisons of accident probability of each crossing pattern

| Type of Crossing | Ratio of Each Accident Probability to the one of Crossing Pattern III | | | | | | | |
|------------------|---|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | Non-old Age | | | | Old Age | | | |
| | Traffic Volume (vpm/lane) | | | | Traffic Volume (vpm/lane) | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Pattern I | 0.900 | 0.930 | 0.959 | 0.987 | 1.013 | 1.019 | 1.030 | 1.040 |
| Pattern II | 1.329 | 1.274 | 1.209 | 1.151 | 1.285 | 1.229 | 1.168 | 1.118 |
| Pattern III | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Table 8 Comparison of crossing opportunity in each crossing pattern

| Type of Crossing | Probability of Crossing opportunity | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | Non-old Age | | | | Old Age | | | |
| | Traffic Volume (vpm/lane) | | | | Traffic Volume (vpm/lane) | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Pattern I | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Pattern II | 0.480 | 0.330 | 0.199 | 0.104 | 0.408 | 0.259 | 0.141 | 0.065 |
| Pattern III | 0.695 | 0.575 | 0.441 | 0.307 | 0.613 | 0.478 | 0.338 | 0.215 |
| Ratio of III to II | 1.45 | 1.74 | 2.22 | 2.95 | 1.50 | 1.85 | 2.40 | 3.31 |

度の差が横断時の危険度に大きく影響することがわかる。また、両者の危険度の差は交通量が低いほど大きくなるが、これは交通量が大きくなるほど横断可能な車頭時間の発生確率が減少することに起因すると解釈できる。

Table 7 は二段階確認型横断における危険度を1として、各横断形態における危険度を比較したものである。ここで、飛び出し横断に対する値は、相対的に小さな値になりやすいことに注意を要する。一括確認型横断と二段階確認型横断の危険度を比較すれば、一括確認型横断が二段階確認型横断より約20~30% 危険度が高くなり、しかも交通量が低いほどその差が大きくなる。これは、モデル定式化の過程からも明らかのように、第2車線の横断危険度にこれらの横断形態の間で差が生じるためである。

Table 8 に示す横断機会の出現確率の計算結果の中で、飛び出し横断の場合は全て1となっているが、これは安全確認しないため事故発生の危険性に関わらずすべての車頭時間が選択されることを示している。したがって、横断機会の出現確率について実際に問題となるのは、一括確認型横断と二段階確認型横断のそれである。そこで、両者の値を比較すれば、二段階確認型横断の方がはるかに大きな横断機会の出現確率が得られ、しかもその差が交通量の増加とともに大きくなる。ことがわかる。

(3) 横断方法の選択と道路条件

横断時の危険度と横断機会の出現確率に関する計算結果を合わせ考えれば、交通安全の観点からは二段階確認型の横断が行われることが望ましいことが明らかになった。このことは、とくに交通量が少ない時ほど強調できる。

しかし実際には、低交通量時の横断行動として選択されやすいのは、一括確認型横断の方であり、二段階確認型横断が選択されるのは、交通量が増加し横断機会を見出すことが困難な状況になってからである。これは、早く横断したいという歩行者心理にもよるが、2車線道路の横断幾何構造による制約が大きく影響している。すなわち、2車線道路中央部に分離帯や歩行者安全島などの歩行者が安心して横断の安全を確認しうる施設が設けられていないことに問題がある。横断歩行者が何ら安全性を保証されない形で道路中央部で立ち止まることには無理があり、実際大きな危険が付きまとう。また、こうしたケースでは、より危険な横断行動も生じやすく、道路横断機会の確保と安全性の両面から問題になる。

4. おわりに

本研究では、歩行者の道路横断形態を、飛び出し型横断、一括確認型横断、二段階確認型横断の3タイプに分類した上で、それぞれの横断形態における事故危険度を推定する基礎的なモデルを定式化した。提案モデルは、任意の交通量状態、車の接近速度と横断歩行速度およびそれらの誤認量を考慮し得るものである。

また、提案モデルを用いて交通事故危険度、横断機会の出現確率などを計算し、各横断形態に対する比較と検討を行った。その結果、二段階確認型横断が安全性確保と横断機会出現率を高めることの両面から最も好ましい横断形態であることが明らかになった。しかしながら、歩行者がこの種の横断形態を選択することが、中央分離帯や歩行者安全島がほとんど設置されていない道路では極めて困難であり、歩行者の道路横断の安全性を考える上で現在の2車線道路の幾何構造に問題があることを指摘した。

本研究で提案したモデルは、多車線道路の横断問題や交差点における右折車と直進車の衝突事故、従道路からの合・流入車と本線交通流との間に生じる事故危険度推定などに対する応用可能性を持つもので、現在その方向でモデル拡張を試みているところである。一方、今回のモデルの定式化にはドライバーの事故回避行動を考慮していないが、この面でも研究を進めつつある。

これらに加えて、ここで提案したモデルは直接的に交通事故発生確率を推定しうるレベルに至っておらず、またモデルの最も重要なパラメータである歩行者やドライバーの速度誤認特性の実証的把握が十分でないなど、残された課題も多い。今後、これらの問題を解決するため、歩行者およびドライバーの交通行動特性の把握とより合理的なモデルの精緻化など、行動心理学的アプローチも取り入れて研究を積み重ねていきたい。

本研究の遂行に当たり山口県警交通企画課、山口警察署および宇部警察署の交通担当諸氏から貴重な調査データを提供していただき、また、交通事故の実情に関する有益なお話を承った。ここに改めて深甚な謝意を表したい。

参考文献

- 1) 交通工学統計：交通工学，Vol.28, No.1, pp.86-89, 1993
- 2) 石光：誤判断を考慮した交通事故危険度の推定に関する研究，山口大学修士論文，1992.2
- 3) 田村・石光：誤判断を考慮した交通事故危険度推

- 定モデル, 平成4年度土木学会中四支部研究発表
会講演概要集, pp.-, 1992
- 4) 山口警察署: 国道9号線バイパス周辺住民アンケート調査, 1989
- 5) 田村・樗木: 自由車・追従車構成に着目した車頭時間分布モデルに関する研究, 土木学会論文報告集, No.336, pp.159-168, 1983
- 6) 樗木・田村: 道路交通量の変動を考慮した実際車頭時間分布モデルに関する研究, 土木学会論文報告集, No.343, pp.141-149, 1984
- 7) T.Chishaki and Y.Tamura: Headway distribution model based on the distinction between leaders and followers, Proc. Int. Symp. on Transportation and Traffic Theory, pp.43-63, VNU Science Press, 1984
- 8) 田村・古池・石光・坂村: 山口バイパスの交通流の速度特性に関する研究, 山口大学工学部研究報告, 第42巻, 第2号, pp.65-72, 1992
- 9) 清水・木村・吉岡: 道路横断施設における高齢者の歩行特性に関する考察, 交通工学, Vol.26, No.2, pp.17-38, 1991

(平成5年4月26日受理)