

# 住区内無信号交差点における出会い頭事故危険性評価モデル\*

## A Model for Estimating Accident Risk at Unsignalized Intersections in Residential Areas\*

松尾幸二郎\*\*・廣島康裕\*\*\*

By Kojiro MATSUO\*\*・Yasuhiro HIROBATA\*\*\*

### 1. はじめに

我が国の平成20年中の交通事故負傷者数は90万人を超えており、依然として憂慮すべき状況にある。特に、全事故の3割弱を占める出会い頭事故のうち、約7割が無信号交差点で発生している<sup>1)</sup>。

このような背景から近年、無信号交差点における出会い頭事故対策として、ITSを用いた警告システムに関する研究が行われており、事故の低減が期待されている。しかし、ITSシステムの導入コストは決して安価ではないため、限られた財源の中では、導入効果の高い交差点へ優先的に導入する必要がある。対策の効果を評価するには、対策による車両挙動の変化および車両挙動変化による客観的な危険性の変化の予測した上で、それらを利便性の変化とともに総合的に評価する必要があるが(図-1参照)、無信号交差点においてある車両挙動が与えられた場合の定量的かつ客観的な危険性を算出するための手法は十分に構築されていないのが現状である。三谷ら<sup>2)</sup>は、無信号交差点における危険性判別手法を検討するとともに、一時停止支援のための警告システムを提案し、走行実験等を利用して効果の評価を行っている。しかし危険性評価の前提条件に関して更なる検討の余地があることに加え、あくまで交差車両が必ずいるという前提での評価であるため、交差車両の発生頻度が考慮されず費用対効果の評価には不十分である。従って、交差車両の発生頻度も考慮した客観的な事故危険性評価手法が必要不可欠である。

著者らのこれまでの研究<sup>3)</sup>では、複数の住区内無信号交差点を対象として、交差点特性(交通量や道路構造など)および進入車両の挙動と事故発生件数との関係を、共分散構造分析等を用いて分析してきた。その結果、それらの現象の構造を理解するという点では意義のある知見を得ているが、あくまで統計モデルであることから、

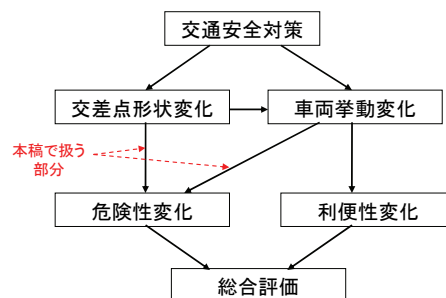


図-1 交通安全対策による効果の評価プロセス

交通安全対策の効果を予測するという点では理論的根拠が十分であるとは言えない。一方、古屋ら<sup>4)</sup>は無信号交差点の非優先側から進入する安全不確認ドライバーの危険性を評価するため、側方視距に注目した理論モデルを提案している。しかし、非優先側車両の速度を考慮できるモデルにはなっておらず、非優先側車両の速度を変化させる交通安全対策の効果予測には適用できない。また、やはり交差車両の発生頻度の考慮には至っていない。

そこで本研究では、無信号交差点における側方視距に注目し、非優先車両の速度変化による効果を表現でき、かつ交差車両の発生頻度を考慮した、出会い頭事故危険性評価のための理論モデルを構築することを目的とする。

### 2. 出会い頭事故危険性評価モデル

#### (1) モデルの概要

Davis<sup>5)</sup>は、住区内街路において不注意な歩行者(子供など)が道路に飛び出してきたときに車両と接触する危険性を算出するモデルを提案している。本研究ではDavisのモデルを参考に、住区内無信号交差点において非優先側から交差側車両(優先側車両)の有無を十分に確認しない車両が進入した場合に交差車両との出会い頭事故が発生する危険性を算出するモデルを構築する。本モデルとDavisのモデルの大きな違いは、Davisは住区内街路の単路部を対象としているため見通しの良し悪しを考慮していないのに対し、本モデルは住区内無信号交差点を対象としているため、見通しの良し悪しを事故危険性に影響する重要な要因の1つと考えている点である。

対象とする交差点は十字交差点であるが、特に側方視距に影響する形状について以下に示す4タイプを想定する(記号については図-2参照)。

\*キーワード: 交通安全・無信号交差点・危険性評価

\*\*学生員, 工修, 豊橋技術科学大学 環境・生命工学専攻

\*\*\*正会員, 工博, 豊橋技術科学大学 建設工学系

(愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1,

TEL : 0532-44-6833, E-mail : hirobata@tutrp.tut.ac.jp)

タイプ1：隅切りなし

タイプ2：隅切り範囲 $c_1$ が $c_2$ より大きい ( $\phi > 45^\circ$ )

タイプ3：隅切り範囲 $c_1$ と $c_2$ が等しい ( $\phi = 45^\circ$ )

タイプ4：隅切り範囲 $c_1$ が $c_2$ より小さい ( $\phi < 45^\circ$ )

## (2) モデル構築における仮定

本研究では単純化のため、車両の長さや幅を考えない Point Vehicleモデルとし、図-2に示すように、優先側車両、非優先側車両のどちらも道路の中央を走行するものとする。また、それぞれの軌跡の交点をCollision Pointとし、隅切りに合わせて引いた $45^\circ$ 線と優先側車両および非優先側車両の軌跡の交点を対称発見可能位置としてCollision Pointからの距離 $x^*$ で表す。これは三谷ら<sup>2)</sup>が定義している「発見位置（交差側の同速度の衝突する恐れのある車両を発見できる位置）」と同様である。

出合い頭事故危険性を算出するモデルを構築するに当たり、まず図-3に示すように不注意な非優先側車両が対称発見可能位置 $x^*$ に到着した瞬間の状況を想定し、このときを時点 $t=0$ とする。また、このときの優先側車両の速度および位置（Collision Pointからの距離）をそれぞれ初期速度 $v_1^0$ 、初期位置 $x_1^0$ とし、非優先側車両の速度および位置をそれぞれ初期速度 $v_2^0$ 、初期位置 $x_2^0 (= x^*)$ とする。さらに、ドライバーの空走時間を $t_p$ 、車両が急停止する際の減速度を $a$ とする。

ここで単純化のため以下のような仮定を置く。

### a) 全体の仮定

$t=0$ の時点で優先側車両が対称発見可能位置よりCollision Point側にいたら ( $x_1^0 < x^*$ ) 事故は発生しない。そうでない場合、事故が発生するかどうかは、 $t=0$ での優先側車両の位置、速度と非優先側車両の速度に依存する（仮定a-1）。なお、優先側、非優先側どちらにおいても対向車両とのインタラクションは考慮しない。

### b) 優先側車両挙動の仮定

$t=0$ の時点で、非優先側車両がCollision Pointに到着する前に、優先側車両が $v_1^0$ のまま（速度を変えずに）Collision Pointを通過できる場合は、 $v_1^0$ のまま通過し、事故は発生しない（仮定b-1）。そうでなければ、 $t=0$ の時点から非優先側車両を実際に視認できる位置 $x_1^*$ まで $v_1^0$ のまま進んだ後、停止するために空走時間 $t_p$ 後に減速度 $a$ で減速する（仮定b-2）。

### c) 非優先側車両挙動の仮定

$t=0$ の時点から優先側車両を実際に視認できる位置 $x_2^*$ まで $v_2^0$ のまま進んだ後、停止するために空走時間 $t_p$ 後に減速度 $a$ で減速する（仮定c-1）。一方、優先側車両がCollision Pointに到達する前に非優先側車両が $v_2^0$ のままCollision Pointを通過できる場合は事故に至らないと考えられるが、本稿ではこの場合を無視し危険側にカウントする（仮定c-2）。

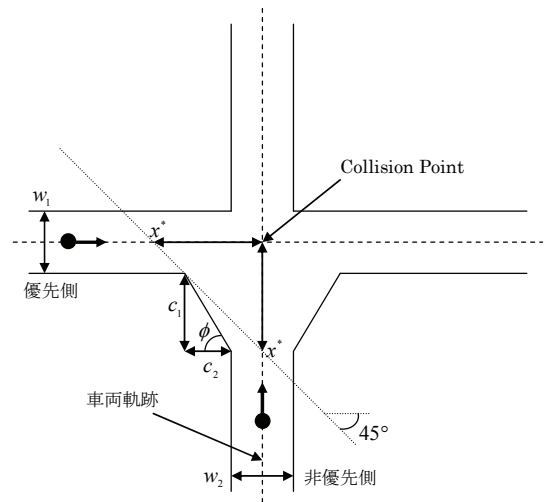


図-2 交差点形状および対称発見可能位置

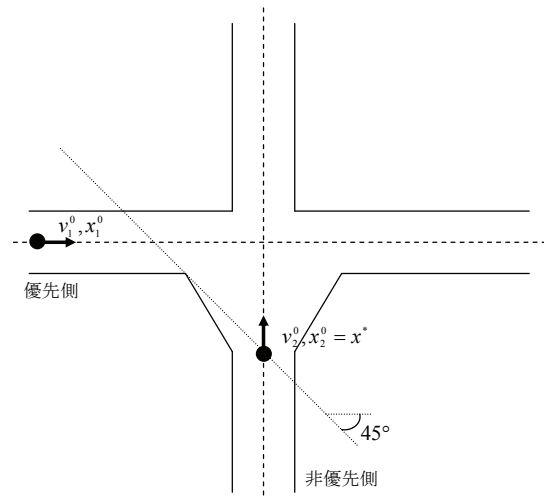


図-3 時点 $t=0$ における状況

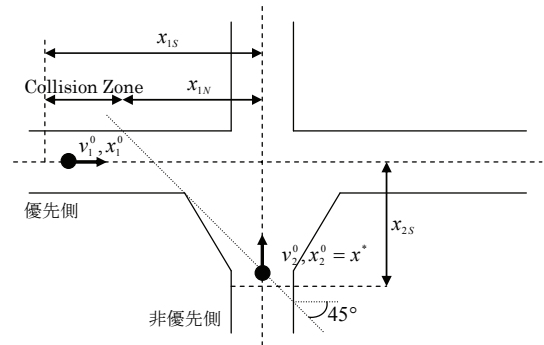


図-4 Collision Zone（時点 $t=0$ ）

## (3) 出合い頭事故の発生条件の定義

本研究では出合い頭事故が発生する可能性の大きさを危険性と考え、本節では出合い頭事故が発生する条件を定義する。

まず仮定b-1の状況が当てはまるためには、つまり非優先側車両がCollision Pointに到着する前に、優先側車両が $v_1^0$ のままCollision Pointを通過できるためには、優先側車両が $t=0$ の時点で以下に示す $x_{1N}$ よりもCollision Pointに近い地点にいる必要がある。すなわち $x_{1N} > x_1^0$

である必要がある。

$$x_{1N} = \frac{x_2^0}{v_2^0} \cdot v_1^0 \quad (1)$$

また、**仮定b-2**の状況で優先側車両が事故を回避するために停止するには、 $t=0$ の時点で以下に示す停止可能距離  $x_{1S}$  より Collision Point から遠い地点にいる必要がある。すなわち、 $x_{1S} < x_1^0$  である必要がある。

$$x_{1S} = v_1^0(t^* + t_p) + \frac{(v_1^0)^2}{2a} \quad (2)$$

$t^*$  : 優先側車両および非優先側車両が実際にお互いを視認できる位置  $x_1^*$  および  $x_2^*$  に到達する時点

一方、**仮定c-1**の状況で非優先側車両が事故を回避するために停止するには、 $t=0$ の時点で以下に示す停止可能距離  $x_{2S}$  より Collision Point から遠い地点にいる必要がある。

$$x_{2S} = v_2^0(t^* + t_p) + \frac{(v_2^0)^2}{2a} \quad (3)$$

ただしここでは、 $x_2^0 = x^*$  のときを  $t=0$  と考えているため、結局のところ停止可能距離  $x_{2S}$  が  $x^*$  より小さくなるような速度  $v_2^0$  である必要がある。すなわち、 $x_{2S} < x^*$  である必要がある。

以上のことから、

$$(x_{1N} < x_1^0 < x_{1S}) \cap (x^* < x_{2S}) \quad (4)$$

のとき、優先側車両はそのまま進んでも、停止しようとしても事故を回避できない Collision Zone (図-4参照) に入っており、かつ非優先側車両も停止することができない。本研究ではこの条件を出合い頭事故が発生する条件と定義する。

#### (4) 時点 $t^*$ の導出

ここで、優先側車両および非優先側車両が実際にお互いを視認できる位置  $x_1^*$  および  $x_2^*$  に到達する時点  $t^*$  は、優先側車両および非優先側車両の初期速度  $v_1^0$ 、 $v_2^0$  および初期位置  $x_1^0$ 、 $x_2^0$  と隅切り形状や道路幅員などの交差点形状の関数となるため、その関数形を導出する必要がある。ただし、本稿で想定しているタイプ1~3の交差点とタイプ4の交差点では  $t^*$  の関数形が異なるため、まずはタイプ1~3の交差点の場合を考える。

まず、 $t$  秒後の優先側車両、非優先側車両の位置をそれぞれ  $x_1$ 、 $x_2$  とすると、

$$x_1 = x_1^0 - v_1^0 \cdot t \quad (5)$$

$$x_2 = x_2^0 - v_2^0 \cdot t \quad (6)$$

となり、お互いが実際に視認可能な位置はそれぞれ、

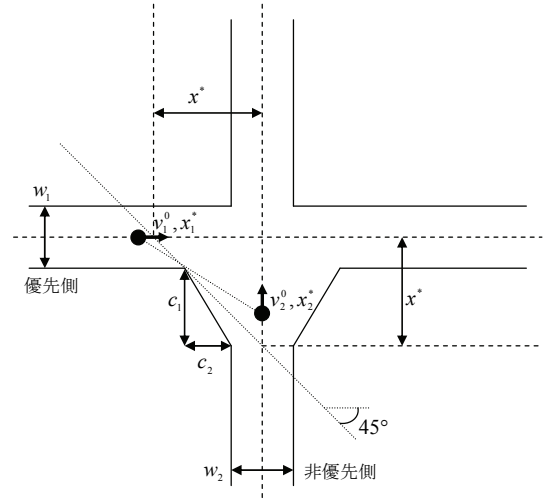


図-5 交差点タイプ1~3での時点  $t=t^*$  における状況

$$x_1^* = x_1^0 - v_1^0 \cdot t^* \quad (7)$$

$$x_2^* = x_2^0 - v_2^0 \cdot t^* \quad (8)$$

となる。

ここで、 $x_1^*$  と  $x_2^*$  との関係は図-5から三角形の相似則を用いて導出することができる。すなわち、

$$x_1^* = \frac{x_2^* \left( \frac{w_2}{2} + c_2 \right)}{x_2^* - \frac{w_1}{2}} \quad (9)$$

となる。ここで (7) 式、(8) 式、(9) 式から、

$$\frac{(x_2^0 - v_2^0 \cdot t^*) \left( \frac{w_2}{2} + c_2 \right)}{x_2^0 - v_2^0 \cdot t^* - \frac{w_1}{2}} = x_1^0 - v_1^0 \cdot t^* \quad (10)$$

となり、これを整理すると以下ようになる。

$$t^{*2} + Bt - C = 0 \quad (11)$$

$$t^* = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4C}}{2} \quad (12)$$

ただし、

$$B = \frac{1}{v_1^0 v_2^0} \left( \frac{v_1^0 w_1 + v_2^0 w_2}{2} - v_1^0 x_2^0 - v_2^0 x_1^0 + v_2^0 c_2 \right),$$

$$C = \frac{1}{v_1^0 v_2^0} \left( \frac{x_1^0 w_1 + x_2^0 w_2}{2} - x_1^0 x_2^0 + x_2^0 c_2 \right).$$

次に、タイプ4の交差点について考える。まず、図-6に示すように、隅切り角度に合わせて引いた線と優先側車両および非優先側車両の軌跡が交わる点をそれぞれ Collision Point からの距離  $d_1$ 、 $d_2$  で表すと、

$$x_1^0 - \frac{x_2^0 - d_2}{v_2^0} \cdot v_1^0 > d_1 \quad (13)$$

の場合に、 $t^*$  の関数形がタイプ1~3とは異なる。先程と同様に三角形の相似則を用いると以下となる。

$$t^* = \frac{-B' \pm \sqrt{B'^2 + 4C'}}{2} \quad (14)$$

ただし、

$$B' = \frac{1}{v_1^0 v_2^0} \left( \frac{v_1^0 w_1 + v_2^0 w_2}{2} - v_1^0 x_2^0 - v_2^0 x_1^0 + v_1^0 c_1 \right),$$

$$C' = \frac{1}{v_1^0 v_2^0} \left( \frac{x_1^0 w_1 + x_2^0 w_2}{2} - x_1^0 x_2^0 + x_1^0 c_1 \right).$$

なお、(12)式、(14)式において正の実根のみが意味を持つことは言うまでもない。また、本稿では $t=0$ となる $x^*$ を対称発見可能位置としたが、必要に応じてCollision Pointからより離れた位置に $x^*$ を設定することも可能であり、その場合には交差点タイプによる定式化をやや変更する必要がある。

### (5) 確率モデルの定式化

本研究では交差車両の発生頻度を考慮した危険性評価を行うため、確率モデルを適用する。具体的にはモデルを特定化する際に、優先側車両および非優先側車両の初期速度( $t=0$ の時点での速度) $v_1^0$ 、 $v_2^0$ と優先側車両の初期位置 $x_1^0$ を確率変数、その他の変数を一定とする。特に、優先側車両の発生はポアソン過程に従うと仮定し、Davis<sup>5)</sup>と同様に $x_1^0$ は指数分布に従うと仮定すると、出会い頭事故発生確率は以下のように表すことができる。

$$\Pr[(x_{1N} < x_1^0 < x_{1S}) \cap (x^* < x_{2S})]$$

$$= \int_0^{\infty} \int_b^{\infty} \left[ e^{-\rho \frac{x_2^0}{v_2} - v_1} - e^{-\left( v_1^0 (t^* + t_p) + \frac{(v_1^0)^2}{2a} \right)} \right] \quad (15)$$

$$\times I \left[ x^* < v_2^0 (t^* + t_p) + \frac{(v_2^0)^2}{2a} \right] f_1(v_1) f_2(v_2) dv_1 dv_2$$

ただし、 $\rho$  : 交通密度、

$$I[x] = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is true} \\ 0, & \text{if } x \text{ is false} \end{cases},$$

$$b = \begin{cases} 0, & \text{if } 2a \left( \frac{x_2^0}{v_2} - t^* - t_p \right) \leq 0 \\ 2a \left( \frac{x_2^0}{v_2} - t^* - t_p \right), & \text{otherwise} \end{cases}$$

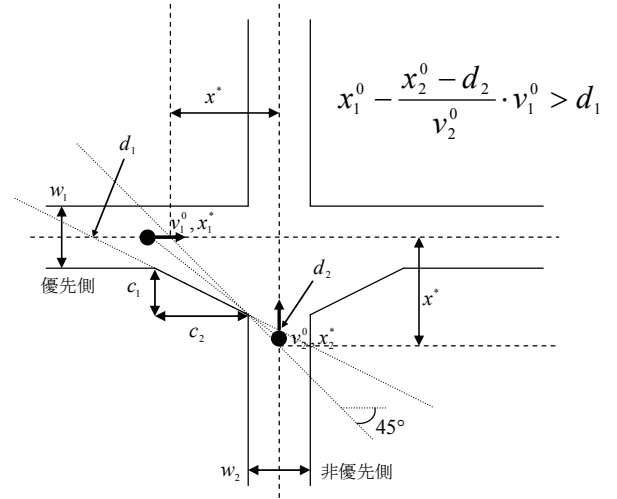


図-6 交差点タイプ4で(13)式が成り立つ場合での時点 $t=t^*$ における状況

以上で構築されたモデルを各無信号交差点の全方向に適用し、安全対策による優先側車両および非優先側車両の速度変化から推計される客観的な危険性変化を交差点間で比較することで、優先度の高い無信号交差点を選定することが可能となる。

### 3. おわりに

本稿では、無信号交差点における側方視距に注目し、出会い頭事故危険性評価のための理論モデルについて、紙面の都合上、モデルの概念を中心に述べた。発表時には、各種パラメータの変化が出会い頭事故危険性に与える影響や、実際の無信号交差点への本モデルの適用結果等について述べる。

### 参考文献

- 1) 警察庁交通局：平成20年中の交通事故死者数について、警察庁HP、2009.1.
- 2) 三谷哲雄・山中英生・上田誠・須藤晃成・鈴江宗太：無信号交差点一時停止支援システムの警告判定方法の評価分析、第6回ITSシンポジウムProceedings(CD-ROM), pp. 22-27, 2007.
- 3) 伊藤孝祥・廣島康裕・村田直樹：住居系地域内の無信号交差点における車両挙動を考慮した交通事故件数の因果構造分析、土木計画学研究・論文集, Vol. 21, no. 4, pp. 853-860, 2004.
- 4) 古屋秀樹・鹿野島秀行・牧野修久・寺奥淳：非幹線道路における交通事故発生の実態とその抑制に関する一考察、第20回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 21-24, 2000.
- 5) Davis G. : Method for Estimating Effect of Traffic Volume and Speed on Pedestrian Safety for Residential Streets, Transportation Research Record 1636, pp. 110-115, 2000.