

通学路周辺の物理的環境が中学生の交通事故危険性を与える影響に関する研究

白石 悠祐¹・松永 千晶²・大枝 良直³・外井 哲志⁴

¹学生会員 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail: shiraishi@doc.kyushu-u.ac.jp

²正会員 九州大学大学院 工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail: matunaga@doc.kyushu-u.ac.jp

³正会員 九州大学大学院 工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail: oeda@doc.kyushu-u.ac.jp

⁴正会員 九州大学大学院 工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail: toi@doc.kyushu-u.ac.jp

本研究は、道路整備や通学路設計による交通事故対策のための知見を得ることを目的とし、交通量や道路施設などの道路空間に関する物理的要因が交通事故危険性を与える影響を表現するモデルを提案するものである。登下校時間帯の生徒の対車両事故を対象に、当事者同士の遭遇機会と、現場周辺の物理的空間特性に対するドライバーの注意力や判断に着目し、生徒やドライバーの行動に関する仮説を立てながらモデルを作成した。モデルは校区のある地点の交通事故の危険指標を目的変数、生徒やその他の歩行者の交通量やドライバーの死角、道路標識・標示など道路整備や通学路設計に関する物理量を説明変数とする。実際の中学校区の事例にモデルを適用した結果、求められた危険指標分布は校区内の交通事故危険性発生地点の分布を再現し、各要因の影響を定量化できた。

Key Words : traffic accident, space design, street network design, school commuting-roads

1. はじめに

現在、日本における子どもの不慮の事故死原因の第1位は交通事故¹⁾であり、その多くが学校周辺の路上で発生している²⁾。これに対し、地方公共団体によるスクールゾーンの設定や、小中学校などによる安全・安心マップの作成などといった交通安全対策が行われている。さらに、山本ら³⁾や斉藤ら⁴⁾、岡部⁵⁾などにより子どもの交通事故に関する数多くの研究もなされている。しかし、これらの多くは、自動車の交通量が交通事故発生に関係していることを示しているが、その影響について定量的な議論を行っているものは少ない。また、自動車以外の交通量や見通しの悪さなど、道路空間を構成する他の要因の影響も考慮する必要がある。

これに対して、我々はこれまでに小学校区を対象として、児童と自動車の遭遇機会および歩行者交通量や死角、道路標識・道路標示などといった道路の物理的特性が交通事故発生に与える影響を考慮し、通学路上での交通事故の発生しやすさを表現できるようなモデル⁶⁾を作成し、

定量化を試みてきた。

今回は中学生の交通事故を対象とした研究を行う。中学生の登校時刻は小学生に比べ早く、また下校時刻は遅いことから、早朝・夜間の視認性は昼間に比べて大きく異なることが考えられる。そこで、新たに現場周辺の明るさ(照度)に関する要因を考慮するため、照度と視認距離の関係式をモデルに導入することでモデルの拡張を試みる。

2. 交通事故のモデル

(1) 交通事故の危険性に関する仮説と交通事故危険指標 I_n

今回は中学生の交通事故のうち、登下校時間帯に発生する交通事故を想定する。本研究では、交通事故に関する仮説として「交通事故は、子どもと車両が道路空間に存在することを前提に、当事者の交通事故の危険性に対する意識・判断が関係している。事故の危険性に対する

意識・判断は現場周辺の交通量や道路施設といった道路空間を構成する要因に左右される」と考える。なお、本研究において、道路空間を構成する要素についてはその校区の人口構成・世帯構成・所得構成・職業構成など社会的・経済的および人的要因は工学的に操作することが難しいため考慮せず、交通量や道路施設などの操作可能な物的要因のみを対象とする。

以上を踏まえて、モデルでは登下校時の通学路上の任意の地点での交通事故に関する危険性を周辺の物理的特性を用いて表現する。図-1にそのモデル図を示す。また、通過交通流の影響などの不確定要素を除くために、中心市街地や大規模商業地を含まない住宅地が中心の通学路を想定する。

このように、交通事故の危険性は「生徒と車両の遭遇回数」と「影響要因の多寡」の2つによって決まるとすると、任意の地点における危険指標 I_n は「生徒と車両の遭遇回数の期待値」 ϕ_n と「ドライバーの視認距離内に存在する影響要因の多寡を表す指標」 ψ_n の積で与えられ、(1)式のように表される。

$$I_n = \alpha \times \phi_n \times \psi_n \quad (1)$$

I_n : 交通事故危険指標

ϕ_n : 生徒と車両の遭遇回数の期待値

ψ_n : ドライバーの視認距離内に存在する影響要因の多寡を表す指標

ここで、任意の地点は距離換算生徒数で表されるものとする。距離換算生徒数は、ドライバーの視認距離内を通過する生徒数 n_p と定義する。事故の危険性は学校からの距離自体より生徒との遭遇機会に左右されることと、下校時を例にとると生徒は学校を中心にそれぞれの自宅に向かって拡散していき、学校からの距離に応じて通過生徒数は減っていくことから、 n_p を距離の代理指標として用いる。距離換算生徒数は(2)式のように表される。

$$n_p = (N_p/V_s) \times L \quad (2)$$

N_p : ある地点 p における単位時間当たりの登下校生徒数(人/min)

L : ドライバーの視認距離(m)

V_s : 生徒の歩行速度(m/min)

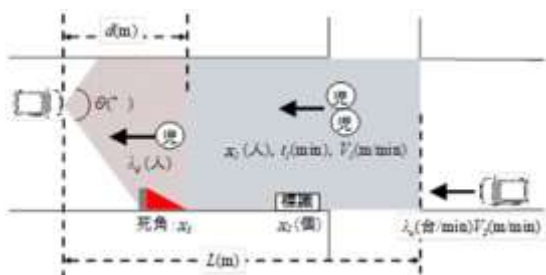


図-1 通学路のモデル図

(2) 生徒と車両の遭遇回数の期待値 ϕ_n

ドライバーが走行中に危険を感じ急ブレーキをかけて停止するまでには一定の距離（以下停止距離）が必要である。実際に交通事故発生の危険性が高まるのは、この範囲内に登下校中の生徒が存在する場合である。したがって、「生徒と車両の遭遇回数」は車両の交通量と走行中の車両の停止距離内に存在する生徒数により変化すると仮定し、任意の車両の停止距離内に存在する生徒数を λ_d (人)、登下校時における車両の交通量を λ_c (台/min)とすると、「生徒と車両の遭遇回数の期待値」 ϕ_n は(3)式のように表される。

$$\phi_n = \lambda_d \times \lambda_c \quad (3)$$

λ_d : 任意の車両の停止距離内に存在する生徒数(人)

λ_c : 登下校時間帯の車両の単位時間当たりの交通量(台/min)

ここで、任意の車両の停止距離を d とすると、任意の車両の停止距離内に存在する生徒数 λ_d は(4)式のように表される。

$$\lambda_d = (N_p/V_s) \times d \quad (4)$$

d : 任意の車両の停止距離(m)

(3) ドライバーの視認距離内に存在する影響要因の多寡を表す指標 ψ_n

本研究では、「任意の車両の停止距離外に存在する生徒の存在」、「生徒以外の歩行者の存在」、「道路標識・標示」、「ドライバーの死角となる要因」の4つを影響要因として取り扱う。また、影響要因は「ドライバーが生徒の存在を確認できる限界の距離」である視認距離の範囲内においてのみ影響するものとし、ドライバーの視認距離は車両の速度に加え、道路形状および沿道施設状況、周辺の明るさなどの道路環境によって変化するものとする。

以上より、それぞれの影響度の違いを表すパラメータを考慮すると、ドライバーの視認距離内に存在する影響要因の多寡を表す指標 ψ_n は(5)式のように表される。

$$\psi_n = \sum_{m=1}^4 \beta_m \times f_m \quad (5)$$

β_m : 交通事故危険性に与える影響に関するパラメータ

f_1 : 任意の車両の停止距離外に存在する生徒の影響

f_2 : 生徒以外の歩行者の影響

f_3 : 道路標識・道路標示の影響

f_4 : ドライバーの死角となる要因の影響

各要因のうち、生徒の存在、生徒以外の歩行者の存在、および道路標識・道路標示はドライバーに注意を与える存在であり、その影響はそれぞれの個数に比例するものと考えられる。ただし、影響は各要因によって異なると考えられるため、区別して考えた。したがって、各要因の影響は(6)式のように表される。

$$f_m = (1 - \gamma_m)^{x_m} \quad (m = 1 \sim 3) \quad (6)$$

γ_m : 各要因が交通事故危険性に与える影響に関するパラメータ($\gamma_m \leq 1$)

x_1 : 任意の車両の停止距離外に存在する生徒数(人)

x_2 : 生徒以外の歩行者の交通量(人)

x_3 : 道路標識・道路標示の設置数(個)

ここで、任意の車両の停止距離外に存在する生徒数 x_1 は、ある地点 p における単位時間当たりの登下校生徒数 N_p (人/min)、ドライバーの視認距離 L (m)、任意の車両の停止距離 d (m)、生徒の歩行速度 V_s (m/min)より(7)のように表される。

$$x_1 = (N_p/V_s) \times (L - d) \quad (7)$$

ドライバーの死角となる要因は、ほかの影響要因の認知を妨げることでドライバーの注意力や意識を低下させると考えられる。ドライバーの死角となる要因の影響度は(8)式のように表される。

$$f_4 = x_4^{\gamma_4} \quad (8)$$

γ_4 : 交通事故危険性に与える影響に関するパラメータ

x_4 : ドライバーの可視範囲に対する死角の割合

(8)式中のドライバーの可視範囲に対する死角の割合 x_4 については、(9)式で与えられる。

$$x_4 = S_d/S \quad (9)$$

S : ドライバーの可視範囲(m^2)

S_d : ドライバーの死角となる範囲(m^2)

ここで、視認距離 L の取り扱いについて説明する。視認距離は人や物の特徴を認識できる限界の距離であり、時間帯や照明の有無などによる現場周辺の明るさで変化するが、原理的には明るさの影響を受けたドライバーの視力によって変化する。夕方および夜間の時間帯については、明るさの指標のひとつである照度による視認距離の変化を考慮するが、視認距離と照度の関係を直接表すことは困難であるため、文献⁷⁸⁾から得られた視力と視認距離、および照度と視力の関係から導出した。

視力と視認距離の関係については、(10)式で与えられる。

$$L(r) = \frac{180 \times 60 \times h}{\pi} \times C(r) \quad (10)$$

$L(r)$: 視認距離(m)

h : 対象物の大きさ(m)

$C(r)$: 視力

次に、照度と視力の関係については、(11)式で与えられる。

$$C(r) = 0.161 \ln r + 0.47 \quad (11)$$

r : 照度(lx)

また、照度と視角の関係については、(12)式で与えられる。この関係を図-2に示すと、100lx以上で視角はほぼ一定となる。

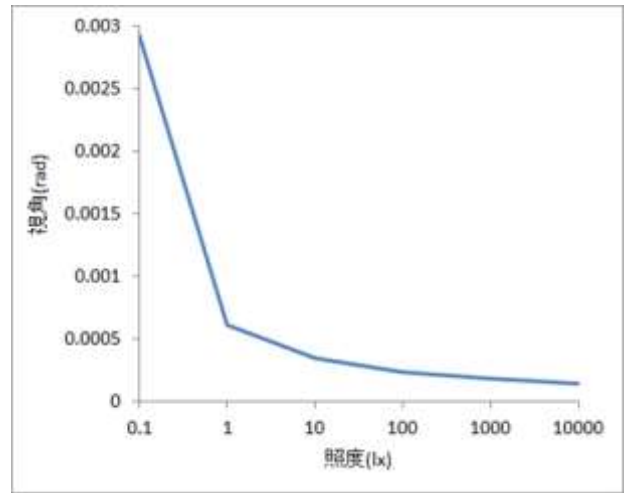


図-2 照度と視角の関係

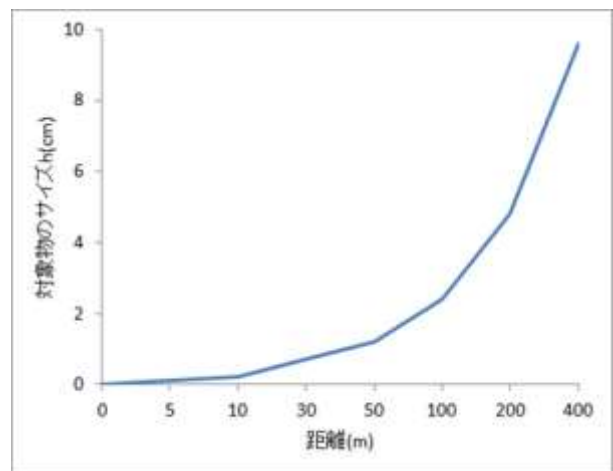


図-3 距離と視認可能な対象物の大きさの関係
(照度 $r=100$ lx)

$$\theta = \frac{\pi}{180 \times 60} \times \frac{1}{(0.161 \ln r + 0.47)} \quad (12)$$

ここで、対象物までの距離 l (m)と対象物の大きさ h (m)を用いると、 θ が微小のとき h/l に等しいことから、100lx以上では対象物の大きさが一定であれば、視認距離もほぼ一定であるといえる。このとき、(10)、(11)式を用いて得た照度100lxでの対象物までの距離と視認可能な対象物の大きさを図-3に示す。これによると、100mでは約2cmとなった。これは人間の目や鼻の大きさに相当する。本研究では顔の特徴を最低限判断できそうな目鼻を視認できる距離である100mを、照度が100lx以上のときのドライバーの視認距離とした。視認距離が100mのときに視認可能な対象物の大きさは $h=0.024$ (m)となるため、照度が100lx未満のときは $h=0.024$ (m)のものを視認可能な距離が視認距離に相当するとして、(13)のように与える。

$$L(r) = \frac{60 \times 180 \times 0.024}{\pi} \times (0.061 \ln r + 0.47) \quad (13)$$

3. モデルの適用

(1) 適用対象とデータ概要

本研究では、住宅地と商業地が混在する福岡市のA中学校区を対象とし、2013年11月にアンケート調査を実施した。アンケート調査の概要を表-1に示す。集計結果によると、登下校時間帯（6:00～9:00および16:00～20:00）における交通事故危険性報告数は33件であった。

車両の交通量については、交通事故危険性の発生があった地点を含む道路区間の5分間交通量の測定値を用いた。交通量調査については、登下校時間帯ということ踏まえ、2015年1月13日・1月14日・1月16日の6時～9時および16時～20時に、生徒を除く歩行者、自転車、自動二輪車、自動車の5分間交通量を1時間ごとに測定した。

ドライバーの視認距離内に存在する道路標識・道路標示の数については、交通量調査と同日に現地調査により測定した。現地調査では、速度制限、車両通行禁止、一方通行、一時停止の道路標識・道路標示に加えて、小中学校や地方公共団体などが作成している交通安全の看板などを対象とした。

ドライバーの死角の割合については、住宅地図および現地調査のデータをもとに画像処理ソフトGIMP2を用いて測定した。

視認距離については、登下校時間帯のうち8時台および16時台は一定とみなし、先に述べたように100lx時の視認距離100mを採用した。その他の時間帯については、時間帯ごとに照度を測定し、その結果を(10)式に当てはめて視認距離を算出した。現地調査は交通量調査と同日に行った。

(2) モデルの適用結果

得られたデータをもとに、対象校区にモデルの適用を

表-1 アンケート調査概要

対象校区	福岡市A校区
調査時期	2013年11月
配布部数	552部
回収部数	473部 (回収率85.7%)
調査内容	① 登下校時の通学経路 ② 登下校時に交通事故に遭った、または遭いそうになった場所 (危険地点) ③ 学年、性別等の個人属性

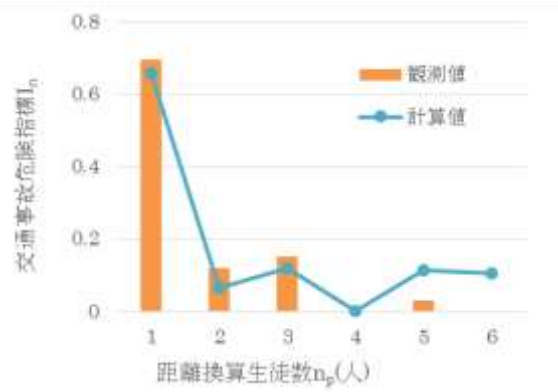


図-4 距離換算生徒数あたりの交通事故危険指標

行った。各パラメータを変化させながら、交通事故危険指標の計算値が観測値を再現するようなパラメータの値を推定した。推定の結果、 $\alpha=0.024$, $\beta_1=14.7$, $\beta_2=1.2$, $\beta_3=0.0$, $\beta_4=0.1$, $\gamma_1=0.94$, $\gamma_2=0.77$, $\gamma_3=0.0$, $\gamma_4=0.0045$ のとき、観測値と計算値の二乗誤差が最小となった。図-4に距離換算生徒数 n_p (人)あたりの交通事故危険指標の観測値と計算値を示す。観測値と計算値は、K-S検定において有意水準20%で適合している結果となった。

(3) パラメータの考察

パラメータの推定結果について考察を行う。各パラメータについて、 β_m は各環境要因が交通事故危険性に与える影響力について表しており、 γ_m は各環境要因が交通事故危険性に与える影響度の大きさについて表している。

β_m の値より、各要因の影響力について理解することができる。推定の結果、4つの要素のうちで $\beta_1=14.7$ と最も大きな数値となったドライバーの停止距離外に存在する生徒数の交通事故危険性に与える影響力が最も大きいという結果となり、 $\beta_3=0.0$ となった道路標識・道路標示の個数の交通事故危険性に与える影響力が最も小さく、ほとんど影響はないという結果となった。

また、(6)式、(8)式より、ドライバーの停止距離外に存在する生徒、生徒以外の歩行者、道路標識・道路標示の各要因については、 γ_m が大きくなると交通事故危険性に与える影響が小さくなり、死角の割合については、 γ_m が大きくなると交通事故危険性に与える影響が大きくなる。 γ_m の値について、 $\gamma_1=0.94$, $\gamma_2=0.77$ より、影響度の変化はドライバーの停止距離外に存在する生徒数のほうが生徒以外の歩行者の数よりも大きいことがわかる。 $\gamma_3=0.0$ より、道路標識・道路標示の個数が交通事故危険性に与える影響はほぼ一定であるということがわかる。 $\gamma_4=0.0045$ より、死角の割合が大きくなるにつれ、その影響度は指数関数的に大きくなることがわかる。

4. 結論

本研究では、道路整備や通学路設計を通して交通事故への対策を講じるため基礎的段階として、交通量及び道路の物理的特性が交通事故に与える影響を定量的に表すモデルを作成した。モデルを実際の状況に適用したところ、校区内の任意の地点での交通事故の危険性を妥当に表現することができた。調査データの精度を高めることで、さらに再現性を高めることができると考えられる。

現時点では交通事故への影響要因として、時間帯に応じた通学路上に存在する生徒、生徒以外の歩行者、道路標識・標示の設置数、ドライバーの死角を考慮したが、今回モデルで考慮しなかった歩車分離率や横断歩道の数などの要因も交通事故発生に影響していると考えられるため、モデルの信頼性を向上させるために、今後考慮の対象にする必要があると考えられる。

なお、現状ではモデルのパラメータよりもデータの個数が少なく、自由度がない状態であるため、データの個数を増やすほか、パラメータを厳選して数を減らすなどの工夫が必要であると考えられる。また、今回は時間帯によって視認距離を変化させてモデルを適用したが、視認距離を一定とした場合との比較ができていないため、こちらも検討する必要があると考えられる。

謝辞：本研究は科学研究費補助金（若手研究(B)，課題番号：25750376）により発表しました。また、本研究の実施にあたり、福岡市内の中学校関係者の方々より貴重な支援を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 総務省統計局：人口動態調査 不慮の事故の種類別にみた年齢別死亡数，2013.
- 2) 水野恵司，元村直靖：子どもの犯罪・交通事故を防ぐための広域安全地図活用法に関する研究，財団法人社会安全研究財団レポート，No.73，pp16-25，2007.
- 3) 山本善積，友定啓子，小島郷子：生活環境としての通学路（第1報）- 交通量測定からみた児童の通学環境 -，日本家政学会誌，Vol.44，No.10，pp871 - 879，1993.
- 4) 斉藤良子：無信号交差点付近における子ども歩行者及び自転車乗用者の横断行動に関する研究，科学警察研究所報告交通編，Vol.23，No.1 pp55-64 1982.
- 5) 岡部佳世：子どもの歩行者交通事故におけるフィジカルな要因の分析 - 小金井市の道路形態を事例として -，日本建築学会計画系論文報告集，第370号，pp57 - 63，1986.
- 6) 川喜多正太：交通量と道路の物理的特性に着目した児童の下校時における交通事故の危険性に関する研究，土木学会西部支部講演概要集，2013.
- 7) 岩崎電気株式会社：IWASAKI LIGHTING

HANDBOOK，照明技術資料，No. TD15，ver1.0，pp. 3,2012.(http://www.iwasaki.co.jp/info_lib/tech-data/knowledge/pdf/glossary.pdf)

- 8) 株式会社ニデック ホームページ：
https://www.nidek.co.jp/eyestory/eye_5.html
- 9) 井上容子：有彩色照明が視認性と雰囲気及ぼす影響，照明学会誌，92(9)，pp. 637-644，2008.

(2015.?.?受付)