

# 物体追跡に基づく軌跡データを利用した 通学路における小学生の行動特性の把握

岩原 雄大<sup>1</sup>・西内 裕晶<sup>2</sup>・Charitha Dias<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 高知工科大学 大学院工学研究科 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185)  
E-mail: 255058h@gs.kochi-tech.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 高知工科大学准教授 システム工学群 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185)  
E-mail: nishiuchi.hiroaki@kochi-tech.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 Qatar University  
E-mail: cdias@qu.edu.qa

近年、学校の周りの通学路をゾーン 30 に設定することやハンプやスマート横断歩道などの物理的デバイスを設置することで、子供にとって安心で安全な道路環境の構築に向けた取り組みが活発化している。その要因の一つとして、子供は大人と比較しても横方向への移動量とそのばらつきが大きく、予測しづらい経路を選択することが考えられる。本稿では、通学時の小学生の行動に着目し、小学生の行動特性を把握するための基本的な指標を検討する。具体的には、小学校に隣接する通学路を高所からビデオ撮影し、物体追跡アルゴリズムのひとつである YOLOv5+DeepSort を用いて、通学路を通過した小中学生の個々の軌跡を取得する。それに基づく軌跡データより速度や進行方向などを算出し、小学生が経路を決定する要因について検討した。

**Key Words:** Access to school, Elementary school students, Action characteristics, Object tracking

## 1. はじめに

わが国の交通事故発生件数は年々減少傾向にある一方で、内閣府が発表した令和 4 年版交通安全白書<sup>1)</sup>によると、平成 29 年～令和 3 年の間で交通事故に遭い死者重症者となった小学生のうち約半数が歩行中の事故であり、その約 3 分の 1 が登下校中の事故であった。加えて、すべての年齢層のうち違反をしていた人は約 4 割であるのに対し、小学生で違反をしていた人は約 6 割であり、法令違反は飛び出しが最多であった。実際、接近車両の速度や距離に対する小学生 (2 年生, 5 年生) の横断判断能力について実験的に考察した既存の研究<sup>2)</sup>では、成人に比べ小学生の判断能力が低く、特に 2 年生は全般的に車両速度の違いを適切に考慮できておらず、5 年生では能力の個人差が大きいことが分かった。このことから、小学生の安全確保に向けて、飛び出しなどの行動を予測するために、小学生の行動特性を把握することが重要であると考えられる。

ここで、通学路における小学生の行動や歩行経路とその要因について吉城ら<sup>3)</sup>は、通学路を通行する小学生を観測し「歩いている」「遊んでいる」などのアクティビ

ティと歩行者の属性や通学路の状態との関係を分析している。その結果、多くのアクティビティにおいて歩行人数が遊びや会話の発生確率に関係することや幅員が走っている確率に関係することが明らかになった。村松<sup>4)</sup>らは、下校時の通学路をビデオ観察し通過位置分布、横断方向移動量分布から児童の歩行位置と活動量に関する分析を行い、児童の歩行特性と通学路環境との関係について分析している。児童の歩行経路は比較的自由に移動できる街路では最短経路から外れやすく、大人の横断方向移動量と比較しても児童のほうが横断方向への移動量とそのばらつきが大きく、予測しづらい経路を選択する可能性が高いと予想され、幅員、交通量から児童の横断方向への移動量を予測することは難しいことを示唆している。このことから、子どもの行動は大人の行動よりも予測しづらく、自由に道路を走行していることがわかる。

さらに、歩行者の行動特性に関連する研究として、千葉ら<sup>5)</sup>は、横断歩道外を横断する歩行者の行動に焦点をあて高所に設置したカメラによって歩行者の横断行動の実態の調査を行った。その結果、付近に走行している車両が存在しないと横断前に立ち止まらずに横断する傾向があることや横断速度が大きい歩行者ほど、斜め横断す

る傾向があることを考察している。林ら<sup>9)</sup>は、狭路における急横断行動を分析し、歩行者が急横断をした際車両の存在に気付くのは車両がすでにブレーキをかけた後であることを明らかにした。このように、歩行者の行動特性について多くの研究がされているが、通学路を歩行する小学生が行動を決定する要因を明らかにした研究はない。

そこで本稿では、小中学校に通学する生徒の歩行位置を取得することで、行動特性を把握するための基本的な指標を検討することを試みた。具体的には、高知県の香美市立土佐山田小学校に隣接する通学路をビデオ撮影し、物体検知ライブラリを用いて小学生の軌跡を取得する。その後、それに基づく軌跡データより、速度や進行方向、周り歩行者との関係などを算出し、速度と進行方向の変化について重回帰分析を行い、小学生が経路を決定する要因について検討することを目的とする。

## 2. 調査対象場所

本稿では、高知県の香美市立土佐山田小学校に隣接する通学路を異なる 4 ヶ所からビデオ撮影した。ビデオ撮影の概要を表-1 に示す。撮影期間は 3 日間であり、登下校時の行動を高所から撮影した。図-1 に対象道路の位置とカメラ設置位置を示す。対象の通学路は、小学校の校門に面した道路で、中央線がない幅 7m 程の道路である。また、実際にカメラで撮影した映像は図-2 のとおりである。

## 3. 軌跡取得方法

### (1) 物体追跡アルゴリズム

小学生の軌跡の取得には、YOLOv5+DeepSort<sup>7)</sup>を用いた。YOLOv5+DeepSort とは、物体追跡アルゴリズムのひとつで、映った人物全てに自動で ID を割り振り追跡することができる技術である。YOLOv5+DeepSort を用いて図-2 に示した①の動画に映る小学生を物体追跡した結果を図-3 に示す。図-3 内に赤点で示した人物を囲む四角形の底辺の中心座標を人物の位置として取得した。

### (2) 射影変換によるデータの単位変換

動画から通過している小学生の位置を取得することができたが、その位置を分析に用いると真上から取得したデータではないため、カメラの奥行きによる距離の変化が考慮されておらず実際の結果とは異なってしまう。そこで、取得した座標データを射影変換し、真上から取得したような距離間隔に変換することで、動画上の位置か

表-1 ビデオ撮影の概要

撮影場所	高知県香美市立土佐山田小学校前の通学路
撮影者	土佐国道事務所
カメラ台数	4 台
撮影期間	2021/1/13 7:00~8:30,14:00~16:00 2021/2/16 7:00~8:30,15:00~17:00 2021/3/18 7:00~8:30,15:00~17:00



図-1 対象道路の位置とカメラ設置位置



図-2 カメラで撮影した映像



図-3 物体追跡した結果

ら実際の距離に単位変換する。射影変換とは、任意の形の四角形から別の形の四角形にする変換のことをいい、元々ある角度を持って撮影された画像を真上から見た図に変換することができる。図-3 において射影変換する範囲を図-4 の赤線で表した。また、図-4 の射影変換後の画像を図-5 に示す。



図4 射影変換の範囲



図5 射影変換の結果

#### 4. 行動特性把握手法

本稿では、動画から取得した位置データから小学生の行動特性を把握するため、Dorine C. Duivesら<sup>8)</sup>の分析手法を基に重回帰分析を行い小学生が経路を決定する要因について分析した。分析の対象となる歩行者を  $p$ 、周りの歩行者を  $q$  として被説明変数と説明変数を表-2 に示した。表-2 内の視野角  $\alpha$  とは対象歩行者の進行方向に対する視野の角度であり、 $\alpha = 60^\circ$  の場合進行方向を  $0^\circ$  として  $-30^\circ$  から  $30^\circ$  までの範囲である。ゆえに、 $\alpha = 60^\circ$  であれば視野角  $60^\circ$  にいる歩行者のみを説明変数の対象とする。また、効率よく決定係数の高い説明変数の組み合わせを選ぶ方法として、初めにすべての説明変数の中から決定係数が最も高い説明変数を選び組み合わせに追加する。次に、先ほどの説明変数を固定したままそれ以外の説明変数から決定係数が最も高くなる説明変数を組み合わせに追加する。ここで、説明変数を加える前の決定係数と加えた後の決定係数を比較し、説明変数を加えることで決定係数が低くなれば加える前の説明変数の組み合わせを最適な組み合わせとする。一方、説明変数を加えることで決定係数が高くなれば加えた説明変数を固定し同様のことを繰り返し、最後まで加えた後の決定係数が高ければ残った組み合わせを最適な組み合わせとする。

表-2 被説明変と説明変数

	変数名	説明
被説明変数 (㉔)	$v_p(t+2)$	2秒後の $p$ の加速度
	$ v_p(t+2) $	2秒後の $p$ の加速度の絶対値=変化量
	$\alpha_p(t+2)$	2秒後の $p$ の角速度
	$ \alpha_p(t+2) $	2秒後の $p$ の角速度の絶対値=変化量
説明変数 (㉕)	$ \vec{v}_p $	$p$ の速度の絶対値
	$t_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360}$	$p$ と $p$ の視野角 $\alpha$ 内に存在する $q$ が直線的に進んだと仮定したときに、衝突する位置に到達するまでの時間差
	$I_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - t_{p,q}$	$p$ の位置から進行方向に伸ばした直線と、 $p$ の視野角 $\alpha$ 内に存在する $t_{p,q}(t)$ が最も短い $q$ の位置から進行方向に伸ばした直線とのなす角度
	$S_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - t_{p,q}$	$p$ の視野角 $\alpha$ 内に存在する $t_{p,q}(t)$ が最も短い $q$ の進行方向から見た $p$ の位置との角度
	$h_{min,\alpha=60,90,120,150,180,360}$	$p$ の視野角 $\alpha$ 内に存在する距離が最も近い $q$ との距離
	$I_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - h_{min}$	$p$ の位置から進行方向に伸ばした直線と、 $p$ の視野角 $\alpha$ 内に存在する距離が最も近い $q$ の位置から進行方向に伸ばした直線とのなす角度
	$S_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - h_{min}$	$p$ の位置から進行方向に伸ばした直線と、 $p$ の視野角 $\alpha$ 内に存在する距離が最も近い $q$ の位置から進行方向に伸ばした直線とのなす角度
	$N_{R=0.5m,1m,1.5m,2m,3m,5m}$	$p$ の位置を中心とした半径 $R$ 内にいる人の人数
$N_{\alpha=60,90,120,150,180,360}$	$p$ の視野角 $\alpha$ 内にいる人の人数	

表-3 最適な説明変数を用いて小学生の加速度の絶対値 $|v_p(t+2)|$ を重回帰分析した結果

Model	C	$ \bar{v}_p $	$I_{p,q,\alpha=120} - h_{min}$	$N_{\alpha=360}$	$h_{min,\alpha=60}$	$S_{p,q,\alpha=60} - t_{p,q}$	$N_{R=1m}$	$I_{p,q,\alpha=60} - t_{p,q}$	$S_{p,q,\alpha=180} - h_{min}$	Adj. Rho <sup>2</sup>
1	0.0561	0.0903**	-	-	-	-	-	-	-	0.0855
2	0.0483	0.1067**	0.0003**	-	-	-	-	-	-	0.1027
3	0.0034	0.1001**	0.0003**	0.0302**	-	-	-	-	-	0.1194
4	0.0129	0.1131**	0.0002**	0.0373**	-0.0098**	-	-	-	-	0.1324
5	0.0109	0.1164**	0.0003**	0.0393**	-0.0116**	-4.9057×10 <sup>-5</sup> **	-	-	-	0.1381
6	0.0128	0.1135**	0.0003**	0.0440**	-0.0116**	-4.5523×10 <sup>-5</sup> **	-0.0187**	-	-	0.1396
7	0.0128	0.1132**	0.0005**	0.0445**	-0.0116**	-4.3066×10 <sup>-5</sup> **	-0.0192**	-0.00021	-	0.1398
8	0.0130	0.1133**	0.0005**	0.0444**	-0.0116**	-8.8134×10 <sup>-6</sup>	-0.0190**	-0.0002*	4.0003×10 <sup>-5</sup>	0.1398

\*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ 

## 5. 小学生の行動特性把握

表-2 のそれぞれの被説明変数について重回帰分析を行った。重回帰分析に用いた説明変数は、図-2 の4つの画面全てから取得した 168,670 個の小学生の位置データより算出した。最適な説明変数を用いて小学生の加速度の絶対値 $|v_p(t+2)|$ を重回帰分析した結果を表-3 に示す。表-3 は、左から組み合わせを選ぶ際に決定係数を基に選ばれた順番になっており、一番右の列の決定係数が説明変数を増やすにつれて高くなっているのがわかる。

表-3 より、決定係数が最も高い説明変数の組み合わせとなる Model8 では8個の説明変数のうち6個の説明変数が有意であるという結果になった。これは、加速度の絶対値だけではなく、他の被説明変数でも同様の結果を確認することができた。このことより、それぞれの被説明変数において小学生が経路を決定する要因について示唆することができた。

## 5. おわりに

本稿では、通学路を撮影した動画から物体追跡アルゴリズムの YOLOv5+DeepSort を用いて、小学生の位置を取得し、Dorine C. Duives らの分析手法に基づいて重回帰分析を行った。結果より、有意な変数が確認できたことから小学生が経路を決定する要因について示唆することができた。今後の課題として、決定係数が最も良いモデルで 0.1398 と低いため、小学生の行動モデルとして行動を予測するには、説明変数に小学生特有の行動を取り入れるなどの改良が必要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 内閣府 HP : 令和 4 年版交通安全白書 [https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb\\_gian.nsf/html/gian/gian\\_hokoku/20220614kotsuanzengaiyo.pdf](https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_gian.nsf/html/gian/gian_hokoku/20220614kotsuanzengaiyo.pdf/$File/20220614kotsuanzengaiyo.pdf), (入手 2022.9.9).
- 2) 稲垣具志, 寺内義典, 大倉元宏: 生活道路における子どもの横断判断特性に関する実験的考察, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.5, pp.665-671, 2015.
- 3) 吉城秀治, 辰巳浩, 堤佳代子: 通学路における小学生のアクティビティの発生傾向とその要因の検討, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, pp.879-886, 2017.
- 4) 村松尚人, 杉木直, 松尾幸次郎, 水谷滉啓: 通学路内における児童の歩行特性の定量的把握と道路環境が与える影響に関する分析, 交通工学論文, Vol.5, No.2, pp.A233-A241, 2019.
- 5) 千葉和太, 中村翔輝, 林隆三: 歩行者の横断歩道外道路横断行動の分析, 交通・物流部門大会講演論文集, Vol.25, 2016.
- 6) 林隆三, 青柳宗一郎, 高梨宏之, 永井正夫: 実データに基づく狭路における歩行者の急横断行動の分析とモデル化, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.2, pp.579-585, 2013.
- 7) Mikel Broström: Real-time multi-camera multi-object tracker using YOLOv5 and StrongSORT with OSNet. [https://github.com/mikelbrostrom/Yolov5\\_StrongSORT\\_OSNet](https://github.com/mikelbrostrom/Yolov5_StrongSORT_OSNet), (参照 2022.5.27).
- 8) Dorine C. Duives, Winnie Daamen, Serge P. Hoogendoorn: Operational Walking Dynamics of Crowds Modeled with Linear Regression, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2623, No.1, pp.90-97, 2017.