

令和4年度

修士論文

通学路における小学生の行動特性を加味した  
歩行者行動モデルの構築

Development of a pedestrian behavior model  
considering the behavioral characteristics of  
elementary school students

高知工科大学大学院  
工学研究科基盤工学専攻  
社会システム工学コース  
都市・交通計画研究室 1255058  
岩原 雄大

指導教員 西内 裕晶  
副指導教員 高木 方隆  
論文副審査 赤塚 慎

2023年 3月10日

## **ABSTRACT**

Recent years have seen a decrease in the number of traffic accidents in Japan. However, looking at the details of the law violations by all age groups and elementary school students who suffered traffic accidents while walking, it showed that about 40% of all age groups violated the law, but the proportion of violations by elementary school students is even higher, approximately 60%. The most common law violation among elementary school students was jumping out of a car, at approximately 40%, suggesting that it is necessary to predict elementary school students' behavior in order to reduce traffic accidents among elementary school students.

Therefore, in this study, we performed multiple regression analysis using trajectory data from videos, that recorded the behaviors of elementary school students on their way to and from school, to understand their behavioral characteristics, and then a behavioral model is constructed. The results show that elementary school students have a narrow field of vision and are more affected by the number of pedestrians in the neighborhood than by their interaction with pedestrians in the neighborhood. Furthermore, it has been suggested that elementary school students who return home in groups of two or more in a straight line are at the greatest risk. Finally, we constructed a pedestrian behavior model for elementary school students and predicted their behavior.

## まえがき

現在、わが国の交通事故は年々減少傾向にあるが、歩行中に交通事故に遭った全年齢層および小学生の法令違反の内容を見てみると、全年齢層では違反をしていた人が約 4 割であるのに対し、小学生は違反をしていた人が約 6 割であり、全年齢層と比較して高くなる結果となった。また、小学生の法令違反は飛び出しが約 4 割と最多であり、小学生の交通事故を減少させるには小学生の行動を予測する必要があると考えた。

そのため本研究では、通学路を撮影した動画より、軌跡データを用いて重回帰分析を行うことによって小学生の行動特性を把握し、行動モデルを構築した。結果として、小学生は視野が狭く、近隣歩行者との関係より近隣歩行者の数に影響されることが分かった。さらに、2 人以上のグループで直列に並び帰宅する小学生が最も危険であることを示唆した。また、小学生の歩行者行動モデルを構築し、小学生の行動を予測した。

## 目次

頁

### ABSTRACT

### まえがき

第1章	序章	1
1-1	本研究の背景	1
1-2	本研究の目的	1
1-3	本論文の構成	2
	第1章の参考文献・参考資料	3
第2章	既往研究の整理と本研究の位置づけ	4
2-1	関連論文の整理	4
2-1-1	子供に関する研究	4
2-1-2	歩行者行動モデルに関する研究	11
2-2	本研究の位置づけと意義	15
	第2章の参考文献・参考資料	16
第3章	小学生の交通事故の現状について	20
3-1	小学生の交通事故の動向	20
3-1-1	小学生の交通事故の動向	20
3-1-2	交通事故に遭った小学生の状態・目的別にみた死者・重症者数	21
3-1-3	歩行中に交通事故に遭った全年齢層および小学生の法令違反の内容	23
	第3章の参考文献・参考資料	24
第4章	小学生の歩行軌跡について	25
4-1	歩行軌跡の概要	25
4-2	対象場所	26
4-3	物体追跡を用いた人物位置の取得	29
4-3-1	物体追跡	29
4-3-2	物体追跡の結果	31
4-3-3	位置座標の出力結果	34
4-3-4	IDの誤変換	35
4-4	射影変換を用いた人物位置の単位変換	36
4-4-1	射影変換	36
4-4-2	位置座標の単位変換	39
4-5	歩行軌跡	40
4-6	第4章のまとめ	43

第4章の参考文献・参考資料.....	44
第5章 小学生の行動特性の把握.....	45
5-1 本章の目的 .....	45
5-2 重回帰分析 .....	45
5-3 重回帰分析の統計的検定.....	45
5-4 重回帰分析の被説明変数および説明変数.....	47
5-4-1 参考論文における被説明変数.....	47
5-4-2 参考論文における説明変数.....	50
5-4-3 小学生独自の説明変数.....	58
5-4-4 説明変数の選択方法.....	62
5-5 重回帰分析の分析結果.....	63
5-5-1 説明変数(1)を用いた速度の変化 $\delta v$ の重回帰分析結果.....	65
5-5-2 説明変数(1)を用いた速度の変化量 $\delta v$ の重回帰分析結果.....	66
5-5-3 説明変数(1)を用いた進行方向の変化 $\delta a$ の重回帰分析結果.....	67
5-5-4 説明変数(1)を用いた進行方向の変化量 $\delta a(t)$ の重回帰分析結果.....	68
5-5-5 説明変数(2)を用いた速度の変化 $\delta v(t)$ の重回帰分析結果.....	68
5-5-6 説明変数(2)を用いた速度の変化量 $\delta v(t)$ の重回帰分析結果.....	70
5-5-7 説明変数(2)を用いた進行方向の変化 $\delta a(t)$ の重回帰分析結果.....	71
5-5-8 説明変数(2)を用いた進行方向の変化量 $\delta a(t)$ の重回帰分析結果.....	72
5-6 第5章のまとめ.....	73
第5章の参考文献・参考資料.....	74
第6章 小学生の歩行者行動モデルの検証.....	75
6-1 本章の目的 .....	75
6-2 歩行者行動モデルの概要.....	75
6-3 小学生の歩行者行動モデルの理論展開.....	75
6-4 小学生の歩行者行動モデルの検証.....	77
6-5 第6章のまとめ.....	79
第7章 結論 .....	80
7-1 本研究の成果.....	80
7-2 本研究の課題.....	80

あとがき

図目次

頁

<収録図>

図 3-1	交通事故に遭った全年齢層と小学生の死者・重症者の推移 <sup>1)</sup> .....	20
図 3-2	状態別にみた交通事故に遭った小学生の死者重症者数 <sup>2)</sup> .....	21
図 3-3	交通事故に遭った小学生の死者重症者数 <sup>2)</sup> .....	22
図 3-4	歩行中に交通事故に遭った全年齢層および小学生の法令違反の内容 <sup>2)</sup> .....	23
図 4-1	歩行軌跡のイメージ図 .....	25
図 4-2	対象通学路およびそれぞれのカメラの位置 引用：国土地理院地図 .....	26
図 4-3	カメラの画角① .....	27
図 4-4	カメラの画角② .....	27
図 4-5	カメラの画角③ .....	28
図 4-6	カメラの画角④ .....	28
図 4-7	YOLOv5 モデルの推論速度と制度の関係 <sup>3)</sup> .....	29
図 4-8	画角①における物体追跡の結果 .....	31
図 4-9	画角③における物体追跡の結果 .....	32
図 4-10	画角④における物体追跡の結果 .....	33
図 4-11	ID の変換 .....	35
図 4-12	ID の入れ替わり .....	35
図 4-13	画角①における射影変換の範囲 .....	36
図 4-14	画角③における射影変換の範囲 .....	37
図 4-15	画角④における射影変換の範囲 .....	37
図 4-16	図 4-13～15 を射影変換した結果 .....	38
図 4-17	1月13日の小学生の歩行軌跡 .....	40
図 4-18	2月16日の小学生の歩行軌跡 .....	41
図 4-19	3月18日の小学生の歩行軌跡 .....	42
図 5-1	被説明変数のイメージ図 .....	48
図 5-2	進行方向の定義 .....	49
図 5-3	対象歩行者 $\mathbf{p}$ の速度 $\mathbf{vp}(t)$ のイメージ図 .....	50
図 5-4	空間的に最も近い近隣歩行者 $\mathbf{q}$ との距離 $hmin(t)$ のイメージ図 .....	51
図 5-5	視野角 $\alpha$ .....	51
図 5-6	時間的に最も近い近隣歩行者 $\mathbf{q}$ との車頭時間 $tp, q(t)$ のイメージ図 .....	54
図 5-7	対象歩行者 $\mathbf{p}$ と近隣歩行者 $\mathbf{q}$ の交差角 $lp, q(t)$ のイメージ図 .....	55
図 5-8	近隣歩行者 $\mathbf{q}$ に対しての対象歩行者 $\mathbf{p}$ の角度 $Sp, q(t)$ のイメージ図 .....	56
図 5-9	対象歩行者 $\mathbf{p}$ の位置を中心とした半径 $R_m$ 内にいる人の人数 $NR$ のイメージ図 .....	57

図 5-1 0	対象歩行者 $p$ の視野角 $\alpha$ 内にいる人の人数 $N\alpha$ のイメージ図.....	57
図 5-1 1	車両を物体検知した結果 .....	58
図 5-1 2	画角①における道路の区別 .....	59
図 5-1 3	画角③における道路の区別 .....	60
図 5-1 4	画角④における道路の区別 .....	60
図 5-1 5	グループ人数ごとにみたデータ数のヒストグラム.....	61
図 5-1 6	行列の定義 .....	61
図 5-1 7	説明変数の選択方法 .....	62
図 6-1	歩行軌跡の実測値および予測値 .....	78

表目次

頁

<収録表>

表 2-1	子供についての既往研究（その1）	7
表 2-2	子供についての既往研究（その2）	8
表 2-3	子供についての既往研究（その3）	9
表 2-4	子供についての既往研究（その4）	10
表 2-5	歩行者行動モデルに関する研究（その1）	12
表 2-6	歩行者行動モデルに関する研究（その2）	13
表 2-7	歩行者行動モデルに関する研究（その3）	14
表 4-1	ビデオ撮影の概要	26
表 4-2	検出可能な人物のリスト <sup>4)</sup>	30
表 4-3	歩行位置の出力結果	34
表 4-4	表4-3を単位変換した結果	39
表 5-1	被説明変数と説明変数の一覧（その1）	63
表 5-2	被説明変数と説明変数の一覧（その2）	64
表 5-3	説明変数（1）を用いた速度の変化 $\delta v$ の重回帰分析結果	65
表 5-4	説明変数（1）を用いた速度の変化量 $ \delta v $ の重回帰分析結果	66
表 5-5	説明変数（1）を用いた進行方向の変化 $\delta a$ の重回帰分析結果	67
表 5-6	説明変数（1）を用いた進行方向の変化量 $\delta a$ の重回帰分析結果	68
表 5-7	説明変数（2）を用いた速度の変化 $\delta v$ の重回帰分析結果	69
表 5-8	説明変数（2）を用いた速度の変化量 $\delta v$ の重回帰分析結果	70
表 5-9	説明変数（2）を用いた進行方向の変化 $\delta a$ の重回帰分析結果	71
表 5-10	説明変数（2）を用いた進行方向の変化量 $\delta a$ の重回帰分析結果	72
表 6-1	実測値と予測値の比較	77



## 第1章 序章

### 1-1 本研究の背景

わが国における小学生の交通事故発生件数は警察や道路管理者による交通安全対策により年々減少傾向にある。特に通学路では、車両の速度抑制を目的とした物理的デバイスやゾーン30が積極的に実施されており、車両の速度を抑制する効果が実証されている。また近年では、ゾーン30の区域内に物理的デバイスを設置するゾーン30+や時間帯によって車両の通過を禁止するライジングボラードなども設置されており、小学生がより安全に通学することのできる環境が整備されている<sup>1)</sup>。

しかし、内閣府が発表した令和4年版交通安全白書<sup>2)</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。このことから、通学路での交通事故を減少させるには車両の速度を抑制させるだけでなく小学生の行動特性も考慮した交通安全対策が必要であると考えられる。

しかしながら、小学生の行動は大人の行動に比べて複雑であり小学生の行動特性を把握するまでには至っておらず行動を予測するのが難しい。

### 1-2 本研究の目的

そこで本研究では、通学路を撮影した動画より、軌跡データを用いて小学生の行動特性を把握し、行動モデルを構築することを目的とする。

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、周りの歩行者や車両との関係などを算出し、加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考察する。さらに、重回帰分析の結果より小学生の歩行者行動モデルを構築し、モデルを用いて歩行者の行動経路を予測することを目的とする。

### 1-3 本論文の構成

本論文は全7章の構成となっている。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的を明らかにした後、本論文の構成について述べる。

第2章「既往研究の整理と本研究の位置づけ」では、子供に関する研究、歩行者行動モデルに関する研究を整理することで本研究の意義を明確なものとし研究の位置づけを行う。

第3章「小学生の交通事故の現状について」では、小学生の交通事故による死者重症者数を示し全年齢層と比較する。

第4章「小学生の歩行軌跡について」では、動画から小学生の歩行軌跡を取得する方法を示す。

第5章「小学生の行動特性の把握」では、小学生の歩行位置のデータより重回帰分析を行い、小学生の行動の要因を把握する。

第6章「小学生の歩行者行動モデルの検証」では、重回帰分析の結果を用いて歩行者の行動モデルを構築し予測を行い実測値と比較する。

第7章「結論」では、本研究の成果と課題について述べる。

## 第 1 章の参考文献・参考資料

- 1) 警察庁 Web サイト：ゾーン 30, ゾーン 30+について  
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/kisei/zone30/zone30.html>, (最終閲覧 2023.1.18)
- 2) 内閣府 HP：令和 4 年度版交通安全白書  
[https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb\\_gian.nsf/html/gian/gian\\_hokoku/20220614kotsuanzengaiyo.pdf/\\$File/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).

## 第2章 既往研究の整理と本研究の位置づけ

### 2-1 関連論文の整理

本節では、本研究に関連する既往研究について述べる。はじめに子供についての知見を得るため子供に関する研究の整理を行う。次いで、歩行者の行動を予測するための歩行者行動モデルに関する研究について整理する。

#### 2-1-1 子供に関する研究

本項では、子供に関する研究について整理する。子供に関する研究では子供の遊びや通学路における行動特性、交通安全、横断判断などの論文が挙げられる。

大谷ら<sup>1)</sup>は教育担当者が示す道路の横断方法に対する学習行動下の児童の行動に焦点を当て、学年段階の違いによる差が生じるか否かを把握しており、学年の上昇とともに、横断時の確認回数と確認時間が増加することが示唆された。

海野ら<sup>2)</sup>は小学校高学年の子どもの遊び・学外活動とQOLの関連性を検討し、子どものQOLと遊び内容、時間、人数、遊び場に深い関連がみられ、QOLが高い子どもは遊び内容は外遊び、遊び人数は多人数、で遊ぶと答えた割合が高く、QOLが低い子どもは遊び内容が屋内での遊び、遊び人数が1人、遊び場は自宅と答える割合が高いことを明らかにした。

鈴木ら<sup>3)</sup>は安全で快適な住環境と共存できる遊び空間創出へとつなげることを目的とした。どのような空間が子どもたちに必要とされているのかを明らかにした。結果として、子どもたちは自由に遊びたいと思っても大人が決めたルールやマナーの中で遊ばないといけないうことが再認識された。

尹ら<sup>4)</sup>は人間一環境研究の中で最も基本になる人間の活動そのものを微細な単位に分析することで、資源が活動の発現過程とどのような関係にあるのかを明らかにした。

吉田<sup>5)</sup>はアンケート調査と手描き地図調査を用いて、ニュータウン地区における子どもの知覚環境の発達プロセスを明らかにすることを目的とし、ニュータウン地区の子どもの遊び行動は制約が多いことや手描き地図の分析によれば、保育園の年長児ですでにルートマップが形成され始め、小学校第4学年以降サーベイマップの割合が次第に増加することが明らかになった。

矢野ら<sup>6)</sup>は過去の交通事故データの集計によって、小学1年生から高校3年生までの歩行中および自転車運転中の交通事故による死傷者数の変化について、特に進学後の変化に注目しながら、通学中と私用中、男子と女子をそれぞれ分けて分析を行った。

丹羽ら<sup>7)</sup>は小学生(5・6年生)の外遊び時間の経年変化を分析し、影響要因を調べ、住宅地における屋外での遊び時間の違いは、時間、空間、グループなどの要因に強く依存していることや、遊戯集団の数が多いほど、屋外での遊戯時間は長くなることを明らかにした。

大谷ら<sup>8)</sup>は小学校高学年の児童を対象に、交通安全教育を繰り返し実施することで、児童の横断行動の実態とその理解度に対する効果を検討した。観察およびアンケートの結果、高

学年の児童は教育を重ねることで実際の横断行動を改善し、自分の横断行動を危険と評価することが分かった。

岡本ら<sup>9)</sup>は写真投影法を用いて、子どもの危険認知と大人の危険認知の違いを明らかにし子どもは大人よりも交通の危険性を低く認識していることが分かった。

稲垣ら<sup>10)</sup>が実験空間における子どもの横断判断状況を観察に基づき把握したところ、車両の認知距離が短くなり判断の時間的余裕が少なくなると、より誤った判断が誘発されることや、車両速度に応じた判断ができなくなるケースが多発すること等が明らかとなった。

野本ら<sup>11)</sup>は、遊び能力と社会的スキルとの関連について検討し、遊び能力すべての因子と社会的スキルの共感・援助のスキル、積極的・主張的関わりのスキルにおいて有意な正の相関が認められた。また、回帰分析の結果より、遊び能力が高くなると社会的スキルも高くなるという因果関係が認められた。

また、大谷<sup>12)</sup>は低学年を対象にして、意図的な確認に焦点を当ててフィードバックする訓練を実施した場合に、学習状況下の児童の行動がいかに変容するのかを調査した。

齊藤は<sup>13)</sup>通常学級に在籍する中学生を対象とし、不注意および多動性・衝動性から成る注意欠陥／多動傾向が学校ライフイベント、自尊感情を媒介して内在化問題と関連するかどうかを検討した。

瀬藤ら<sup>14)</sup>は「通学手段や通学時間、通学時の同伴者、下校時のアクティビティといった通学状況と子どもの心身の健康との関係の実態を明らかにすること」を目的とし、下校時の同伴者や地域コミュニティとのふれあいが子どもの精神的健康にとって重要な意味を持つことが示唆された。

水月<sup>15)</sup>は仮設通学路と改修後の通学路に対する児童の評価を比較し、児童グループは、環境体験の乏しい通学路に比べ、様々な環境体験ができる通学路を好むことが分かった。

また、水月ら<sup>16)</sup>は学校から帰宅する際の子どもの行動と街路環境との関係を分析し、子どもたちが学校から帰宅するとき、街路環境は子どもたちが遊ぶ機会を提供することや移動によって生じる変化が遊びのアフォーダンスとなることを明らかにした。

加藤ら<sup>17)</sup>は生活道路での事故リスク対策に積極的でない住民の意識を構造的に明らかにした。

樋口ら<sup>18)</sup>は交通事故と犯罪の過去の発生件数に影響している地域特性の抽出し、交通事故と犯罪の発生件数に共通して影響している要因として、公共施設数や住居系用途地域面積などの地域特性を抽出した。

大西ら<sup>19)</sup>は歩行中の交通事故に着目し、小学生以下は飛出し違反を占める割合が高く、未就学児は保護者等の不注意、小学生は安全不確認を占める割合が高いことを明らかにした。

萩田<sup>20)</sup>は登下校時は、移動時間と比較して小学生の歩行中死傷者が少ないうえに、歩行中小学生の法令違反や横断歩道外横断の割合も低く、各種交通安全対策により登校時の交通事故リスクが特に低いことを明らかにした。

稲田<sup>21)</sup>は横断判断について、子どもの能力の現状を明らかにするため、都内の実際の生活道路で、小学2年生と小学5年生に協力してもらい行い、多くの子どもはクルマの「速い」「遅い」は分かっている、その速度の違いに応じて横断の判断を適切に変化させることができないことが明らかにした。

さらに稲田ら<sup>22)</sup>は子どもの横断判断能力の特性について小学生保護者へ情報提供することによる影響をアンケート調査により把握し、子どもの交通行動能力に関する保護者の認識が実態と乖離していることを明らかにした。

小池ら<sup>23)</sup>は子供の視点を考慮した安全な歩行者空間を考察するため、写真撮影調査と視点移動調査を行い、子供と大人との注視行動の違いを把握した。

小竹ら<sup>24)</sup>は自転車利用に着目し、学校や家庭で安全に関わる教育の現状を把握し、今後の交通安全教育の充実を図るための課題を明らかにした。

池田ら<sup>25)</sup>は子どもの事故に関する危険性認識を明らかにするとともに外遊び体験や通学行動との関係性を探り、外遊び体験が子どもの内発的な危険性認識を育てていることを明らかにした。

山本ら<sup>26)</sup>は自動車交通の多さは児童の通学行動に影響を与えており、児童らは自動車を避けて指定された通学路以外の道を通学していることを明らかにした。

稲垣ら<sup>27)</sup>は子どもの歩行者事故の典型類型である道路横断時の事故に着目し、接近車両の速度や距離に対する小学生の横断判断能力について実験的に考察している。

吉城ら<sup>28)</sup>は地域において道遊びが容認され、または容認されない道路空間や状況の特徴を明らかにするために、地域住民の道遊びに対する意識について分析した。

宮崎ら<sup>29)</sup>は宇都宮市における通学路のGISデータを作成し、通学路と通学路外で発生した子供の交通事故の比較分析を行い、通学路と通学路外では事故の内容に差異はみられなかったが、子供の違反は道路形状に依存すること、通学路では運転手が低速で行動中に事故が多発していることを明らかにした。

吉城ら<sup>30)</sup>は福岡市内の小学校区をケーススタディとして路上観測調査を実施し、道路上における小学生のアクティビティの発生状況を調査した。その結果、子どものアクティビティの発生には一緒に歩いている児童の人数が最も大きな影響を及ぼし、次いで小学校からの距離や広い歩道の有無も影響してくることなどが明らかになっている。

村松ら<sup>31)</sup>は通過位置分布、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の考察を行った。

荻田ら<sup>32)</sup>は登下校時と登下校以外の移動時間を考慮した分析では、登下校時は、移動時間と比較して小学生の歩行中死傷者が少ないうえに、歩行中小学生の法令違反や横断歩道外横断の割合も低く、各種交通安全対策により登校時の交通事故リスクが特に低いことを示唆した。

末益ら<sup>33)</sup>は交通流および道路施設や沿道施設状況などの道路空間に関する物理的要因を考慮した交通事故危険性を説明したモデルを提案した。

表 2-1 子供についての既往研究 (その1)

No.	論文名	研究者	出典・出版年月	概要
1	学習場面における道路横断行動に見られる児童の学年差	大谷 亮 橋本 博 岡田 和未 小林 隆 岡野 玲子	交通心理学研究 Val.33 No.1 Page.1-12 2017	本研究では、教育担当者が示す道路の横断方法に対する学習行動下の児童の行動に焦点を当て、学年段階の違いによる差が生じるか否かを把握することを目的とした。結果として、学年の上昇とともに、まず道路横断時の確認回数が増え、次に確認時間が長くなり、最終的に確認回数と時間が増加するといった過程を経ることが示唆された。
2	子どもの遊び・学外活動と QOL の関係に関する研究	梅野 遥香 三輪 俣代 橋本 成仁	土木学会論文集 D3 (土木計画学) Val.75 No.6 Page.I_425-I_431 2020	本研究では、小学校高学年の子どもの遊び・学外活動と QOL の関連性を検討した。その結果、子どもの QOL と遊び内容、時間、人数、遊び場に深い関連がみられ、QOL が高い子どもは遊び内容は外遊び、遊び人数は多人数、で遊ぶと答えた割合が高く、QOL が低い子どもは遊び内容が屋内での遊び、遊び人数が 1 人、遊び場は自宅と答える割合が高いことが明らかになった。また、数量化 I 類により子どもの QOL を予測したところ、子どもの QOL には遊び時間や遊び内容、生活習慣である睡眠時刻などの項目が関連性が強いことが把握された。
3	子どもの遊びと遊び場選択に関する研究	鈴木 舞衣 薬袋 奈美子	都市計画報告集 Val.75 No.6 Page.84-89 2022	本研究では、どのような空間が子どもたちに必要とされているのかを明らかにすることによって、安全で快適な住環境と共存できる遊び空間創出へとつなげることを目的としている。結果として、子どもたちは自由に遊びたいと思っても大人が決めたルールやマナーの中で遊ばないといけないということが再認識された。道で遊べば周りの大人に怒られ、自由にのびのび遊べる公園でさえボールの使用が禁止されている。子どもや周辺住民の安全・快適な生活を守るためにルール作りは必要であるが、ルールによって子どもの遊びを規制するだけでなく、自由に遊べる場所の確保や規制緩和のためのルール作りも行っていく必要があることを示唆した。
4	子どもの遊びの分析を通じた活動の構造的・生態学的モデルの提案	伊 俊到 木多 道宏 鈴木 毅 関 丙昊	日本建築学会計画系論文集 Val.71 No.602 Page.27-34 2006.04	本研究は、人間の行動と環境との本質的な関係を分析するために、行動の分析単位として、微細な「個別行為」と、複数の個別行為群から構成される「活動」の概念を抽出・提示するとともに、活動を構成する個別行為間の関係性である「活動システム」を読み取ることを目的とした。人間一環境研究の中で最も基本になる人間の活動そのものを微細な単位に分析することで、資源が活動の発現過程とどのような関係にあるのかを明らかにし、活動一個別行為一資源の流れを提示できた。
5	子どもの遊び行動と知覚環境の発達プロセス	吉田和義	地理学評論 Val.81 No.8 Page.671-688 2008	本研究はアンケート調査と手描き地図調査を用いて、ニュータウン地区における子どもの知覚環境の発達プロセスを明らかにすることを目的とし、ニュータウン地区の子どもの遊び行動は制約が多いことや手描き地図の分析によれば、保育園の年長児ですでにルートマップが形成され始め、小学校第 4 学年以降サーベイマップの割合が次第に増加することが明らかになった。
6	児童・生徒の学年と歩行中および自転車運転中の交通事故死傷者数の関係—進学後の変化に着目して—	矢野 伸裕 森 健二	交通心理学研究 Val.35 No.1 Page.10-25 2019	本研究では、過去の交通事故データの集計によって、小学 1 年生から高校 3 年生までの歩行中および自転車運転中の交通事故による死傷者数の変化について、特に進学後の変化に注目しながら、通学中と私用中、男子と女子をそれぞれ分けて分析を行った。結果として、歩行中では 18 時以降の死傷者割合が、男女ともに、進学の際に不連続的に階段状に増加した。
7	子どもの外遊び時間に影響を与える要因の検討	丹羽 高明 高橋 武夫 入口 豊 長澤 国子	日本スポーツ教育学会誌 Val.6 No.1 Page.1-12 1986.05	本研究は、小学生 (5・6 年生) の外遊び時間の経年変化を分析し、影響要因を調べ、住宅地における屋外での遊び時間の違いは、時間、空間、グループなどの要因に強く依存していることや、遊戯集団の数が多いため、屋外での遊戯時間は長くなることを明らかにした。
8	児童の交通安全のための実践的・継続的教育手法とその効果—横断行動の認識を促進させるアプローチ—	大谷 亮 橋本 博 岡田 和未 小林 隆 岡野 玲子	交通心理学研究 Val.28 No.1 Page.8-21 2012	本研究では、小学校高学年の児童を対象に、交通安全教育を繰り返し実施することで、児童の横断行動の実態とその理解度に対する効果を検討した。観察およびアンケートの結果、高学年の児童は教育を重ねることで実際の横断行動を改善し、自分の横断行動を危険と評価することが分かった。また、実際の横断行動と安全な横断行動モデルとの差異をフィードバックすることが、生徒の正しい理解を促す重要な要因であることが明らかになった。

表 2-2 子供についての既往研究 (その2)

No.	論文名	研究者	出典・出版年月	概要
9	写真投影法による子どもの危険認知の把握	岡本 卓也 林 幸史 藤原 武弘	コミュニティ心理学研究 Val.18 No.1 Page.21-41 2014	本研究は、写真投影法を用いて、子どもの危険認知と大人の危険認知の違いを明らかにすることを目的としている。結果として、子どもは大人よりも交通の危険性を低く認識していることが分かりました。また、子どもたちの危険認知や安全意識に関する発達過程にある一定のパターンが明らかになった。
10	車両認知条件に着目した子どもの道路横断判断特性に関する研究	稲垣 具志 小早川 悟 寺内 義典 和田 大輔	交通工学論文集 Val.3 No.2 Page.A_215-A_222 2017.02	本稿では、交通安全教育・対策に具体性を与えるための知見を得ることを目指し、子どもの横断判断特性について車両の認知条件による影響を考慮しながら検討することを目的とした。実験空間における子どもの横断判断状況を観察に基づき把握したところ、車両の認知距離が短くなり判断の時間的余裕が少なくなると、より誤った判断が誘発されることや、車両速度に応じた判断ができなくなるケースが多発すること等が明らかとなった。
11	小学校高学年児童における遊び能力と社会的スキルの心理学的研究	野本 浩太郎 石野 陽子	教育総合臨床研究 Page.75-88 2015	本研究は、教育活動や生活支援の場において、子どもの社会的スキルを伸ばすための関わり方を考える一助となることを目的とし、特に遊び能力と社会的スキルとの関連について検討した。その結果、遊び能力すべての因子と社会的スキルの共感・援助のスキル、積極的・主張的関わりとのスキルにおいて有意な正の相関が認められた。また、回帰分析の結果より、遊び能力が高くなると社会的スキルも高くなるという因果関係が認められた。
12	焦点化訓練が低学年児童の道路横断行動に及ぼす影響	大谷 亮	Japanese Journal of Applied Psychology Val.42 No.2 Page.101-111 2016	本研究では、低学年を対象にして、意図的な確認に焦点を当ててフィードバックする訓練を実施した場合に、学習状況下の児童の行動がいかに変容するのかを調査することを目的とした。その結果、焦点化訓練の後、子どもたちは道路を横断する際に模擬車両の存在する右側を何度も見て注意するようになったことが分かった。しかし、訓練後も、子どもたちは左や後ろを何度も見たり、気をつけたりすることはなかった。
13	中学生の不注油および多動性・衝動性と内在化問題との関連—学校ライフイベントと自尊感情を媒介として—	齊藤 彩	教育心理学研究 Val.63 No.3 Page.217-227 2015	本研究は、通常学級に在籍する中学生を対象とし、不注油および多動性・衝動性から成る注意欠陥/多動傾向が学校ライフイベント、自尊感情を媒介して内在化問題と関連するかどうかを検討することを目的として行われた。結果より、不注油、多動性・衝動性、注意欠陥/多動傾向の各変数と内在化問題との間には有意な正の相関関係が確認された。
14	通学状況が子どもの心身の健康に与える影響	瀬藤 乃介 谷口 綾子 石田 東生	土木学会論文集 D3 (土木計画学) Val.75 No.5 Page.I_1069-I_1079 2019	本研究では「通学手段や通学時間、通学時の同伴者、下校時のアクティビティといった通学状況と子どもの心身の健康との関係の実態を明らかにすること」を目的とし、下校時の同伴者や地域コミュニティとのふれあいが子どもの精神的健康にとって重要な意味を持つことが示唆された。
15	異なる通学路環境に対する質的評価の違いについて—特定の児童グループによる道の使い分けと発言に注目して—	水月 昭道	立命館人間科学研究 Val.13 Page.9-20 2007	本研究は、仮設通学路と改修後の通学路に対する児童の評価を比較したものである。結果として、児童グループは、環境体験の乏しい通学路に比べ、様々な環境体験ができる通学路を好むことが分かった。
16	下校路に見られる子どもの道草遊びと道環境との関係	水月 昭道 南 博文	日本建築学会計画系論文集 Val.68 No.574 Page.61-68 2003.12	本稿では、学校から帰宅する際の子どもの行動と街路環境との関係を分析し、子どもたちが学校から帰宅するとき、街路環境は子どもたちが遊ぶ機会を提供することや移動によって生じる変化が遊びのアフォーダンスとなることを明らかにした。
17	狭い通学路の交通安全対策に対する地域住民の意識分析	加藤 民央 金 利昭	土木学会論文集 D3 (土木計画学) Val.74 No.5 Page.I_1339-I_1348 2018	本研究では、生活道路での事故リスク対策に積極的でない住民の意識を構造的に明らかにすることを目的に、水戸市において抜け道通行が発生している狭い通学路の一つにて周辺住民の意識調査を行った。結果、交通安全に対する意識は高い一方で、規制を伴う対策への賛否は分かれた。クロス集計により、子供の有無や車での通行頻度といった属性が賛否に強く影響すること、および数量化3類の分析により、子供の成長や長期の居住による道路環境への慣れ、規制範囲の拡大といった要素が、住民の意識を対策へ反対する方向へ変化させるという知見が得られた。
18	交通事故と犯罪の発生件数に影響する地域特性の抽出に関する研究—豊田市の小学校区を対象にしたケーススタディー	樋口 恵一 三村 泰広 安藤 良輔	交通工学論文集 Val.2 No.2 Page.A_193-A_198 2016.02	本研究では、交通事故と犯罪の過去の発生件数に影響している地域特性の抽出を行った。その結果、交通事故と犯罪の発生件数に共通して影響している要因として、公共施設数や住居用途地域面積などの地域特性を抽出することができた。



表 2-3 子供についての既往研究 (その3)

No.	論文名	研究者	出典・出版年月	概要
19	交通事故統計データを利用した子供の歩行中事故要因に関する基礎的分析	大西 宏樹 藤生 慎	AI・データサイエンス論文集 Val.2 No.12 Page.848-855 2021	本研究では、石川県内で発生した歩行者事故を対象とし、子供の歩行中事故要因を把握するため、交通事故統計データを利用した分析を試みた。歩行者に着目した結果、小学生以下は飛出し違反を占める割合が高く、未就学児は保護者等の不注意、小学生は安全不確認を占める割合が高いことが明らかとなった。
20	通行目的別に比較した小学生の交通事故と移動時間	萩田 賢司	交通工学論文集 Val.6 No.5 Page.1-10 2020.07	登下校時と登下校以外の移動時間を考慮した分析では、登下校時は、移動時間と比較して小学生の歩行中死傷者が少ないうえに、歩行中小学生の法令違反や横断歩道外横断の割合も低く、各種交通安全対策により登校時の交通事故リスクが特に低いことが窺えた。
21	子どもの道路横断時の判断能力と安全教育の在り方	稲垣 具志	福祉のまちづくり研究 Val.21 No.2 Page.34-37 2019	本研究では、横断判断について、子どもの能力の現状を明らかにするため、都内の実際の生活道路で、小学2年生と小学5年生に協力してもらい実験を行った。その結果、多くの子どもはクルマの「速い」「遅い」は分かっているが、その速度の違いに応じて横断の判断を適切に変化させることができないことが明らかとなった。
22	子どもの道路横断判断に関する情報提供による保護者の意識への影響分析	稲垣 具志 小早川 悟 寺内 義典 青山 恵里	土木学会論文集 D3 (土木計画学) Val.72 No.5 Page.1 985-I_992 2016	本稿では子どもの横断判断能力の特性について小学生保護者へ情報提供することによる影響をアンケート調査により把握した。これより、子どもの交通行動能力に関する保護者の認識が実態と乖離していることが明らかとなった。また、多くの保護者に対して強い危険認識が与えられ、自動車運転時の速度抑制や子どもへの指導に関する積極的な意識変化をもたらすこと等が示された。
23	子供の視点を考慮した安全な歩行空間に関する研究	小池 洋平 浜岡 秀勝 清水 浩志郎	土木計画学研究・講演集 2003	本研究では、子供の視点を考慮した安全な歩行者空間を考察するため、写真撮影調査と視点移動調査を行い、子供と大人との注視行動の違いを把握した。写真撮影調査により、大人には交通環境の注視が困難でない状況でも、子供は注視しづらい状況に陥る可能性を再確認した。さらに、大人・子供の歩行中の注視構造物を視点移動調査で確認し、視点移動パターンを見た。結果として、子供は車両運転者が安全に運転するために設置した構造物により、それらの構造物の根元にしか注視せず、狭い空間を歩行し、歩行しにくい環境にいることが明らかになった。
24	児童生徒の自転車利用意識と交通安全教育の課題に関する調査研究	小竹 雄介 日野 泰雄 吉田 長裕	土木学会論文集 D3 (土木計画学) Val.68 No.5 Page.1 1185-I_1191 2012	本研究では自転車利用に着目し、学校や家庭で安全に関わる教育の現状を把握し、今後の交通安全教育の充実を図るための課題を明らかにすることを目的とした。特に中・高校で教育不足で、交通安全に対する関心や法規の理解度が低いため、教育の継続性の担保が重要であり、また教員への講習と教材の充実が課題であること等を明らかにした。
25	小中学校を対象とした子どもの道路への危険性認識と外遊び体験との関係に関する研究	池田 勤 近藤 隆二郎	環境システム研究論文集 Val.33 Page.487-493 2005	本研究では、子どもの事故に関する危険性認識を明らかにするとともに外遊び体験や通学行動との関係性を探り、外遊び体験が子どもの内発的な危険性認識を育んでいることを明らかにした。
26	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	山本 善積 友定 啓子 小島 郷子	日本家政学会誌 Val.44 No.10 Page.871-879 1993	通学路について、自動車交通の多さは児童の通学行動に影響を与えているが、それは少なくとも次の2つの点で認められる。1つは、通学集団が自動車の少ないところで形成され、自動車交通の多いところでは、児童が合流しても大きな単位にならないこと、もう1つは、自動車を避けて指定された通学路以外の道を通学していることである。
27	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	稲垣 具志 寺内 義典 大倉 元宏	土木学会論文集 D3 (土木計画学) Val.71 No.5 Page.1 665-I_671 2015	本稿では、子どもの歩行者事故の典型類型である道路横断時の事故に着目し、接近車両の速度や距離に対する小学生の横断判断能力について実験的に考察した。その結果、小学生は成人と比べて車両速度に対応した判断ができていないこと等が明らかとなった。
28	地域住民からみた住区内道路における道遊びに対する意識	吉城 秀治 辰巳 浩 堤 香代子 糸永 匠汰	都市計画論文集 Val.54 No.3 Page.672-679 2019.10	本研究では、地域において道遊びが容認され、または容認されない道路空間や状況の特徴を明らかにするために、地域住民の道遊びに対する意識について分析した。その結果、例えば道遊びを肯定的に考えている地域住民では時間帯によって容認意識が変化し、特に平日は小学生が下校するような時間帯から午後6時まで、休日は日中であれば容認されることなどを明らかにしている。

表 2-4 子供についての既往研究（その4）

No.	論文名	研究者	出典・出版年月	概要
29	通学路で発生した子供の交通事故に関する実証的研究	宮崎 萌 森本 章倫	都市計画論文集 Val.51 No.3 Page.649-654 2016.10	本研究では宇都宮市における通学路のGISデータを作成し、通学路と通学路外で発生した子供の交通事故の比較分析を行った。分析の結果、通学路と通学路外では事故の内容に差異はみられなかったが、子供の違反は道路形状に依存すること、通学路では運転手が低速で行動中に事故が多発していることが明らかになった。
30	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	吉城 秀治 辰巳 浩 堤 香代子	都市計画論文集 Val.52 No.3 Page.879-886 2017.10	本研究では、福岡市内の小学校区をケーススタディとして路上観測調査を実施し、道路上における小学生のアクティビティの発生状況を調査した。その結果、子どものアクティビティの発生には一緒に歩いている児童の人数が最も大きな影響を及ぼし、次いで小学校からの距離や広い歩道の有無も影響してくることなどが明らかになっている。
31	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	村松 尚人 杉木 直 松尾 幸二郎 水谷 晃啓	交通工学論文集 Val.5 No.2 Page.A_233-A_241 2019.02	本研究では、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の考察を行った。その結果として、児童の通過位置や横断方向移動量は、幅員が大きいグループでは幅員、交通量による影響を受けやすく、幅員が小さいグループでは道路境界条件の影響を受けやすいことが明らかとなった。
32	通行目的別に比較した小学生の交通事故と移動時間	萩田 賢司	交通工学論文集 Val.6 No.5 Page.1-10 2020.07	通行目的別に小学生の交通事故を比較し、特徴を分析した。小学生の歩行中と自転車運転中の交通事故死亡者数、死傷者数は、近年は減少していた。また、登下校時と登下校以外の移動時間を考慮した分析では、登下校時は、移動時間と比較して小学生の歩行中死傷者が少ないうえに、歩行中小学生の法令違反や横断歩道外横断の割合も低く、各種交通安全対策により登校時の交通事故リスクが特に低いことが窺えた。高学年は自転車運転中の死傷者が多数を占め、自転車の交通安全対策の重要性が示された。
33	道路の空間的特性からみた通学路における交通事故の危険性に関する研究	末益 元気 松永 千晶 角 知憲	土木学会論文集 D3 (土木計画学) Val.68 No.5 Page.I_1279-I_1286 2012	本論文は、道路整備や通学路設計からの対策を講じるための基礎的段階として、交通流および道路施設や沿道施設状況などの道路空間に関する物理的要因を考慮した交通事故危険性を説明したモデルを提案した。実際の小学校区内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報告地点の分布を再現する結果となった。

## 2-1-2 歩行者行動モデルに関する研究

本項では、歩行者行動モデルに関する研究について整理する。歩行者行動モデルに関する研究では、群集の行動モデルや狭路での急横断の行動モデルなど様々な場面において研究がなされている。

Andrea ら<sup>34)</sup>は加齢とグループ化が速度と近接行動に及ぼす複合的な影響について検証し、2人組の歩行速度は単身者に比べて30%遅く、これはコミュニケーションのために空間的なまとまりを維持する必要性に起因することがわかった。

Nirajan ら<sup>35)</sup>は生物学でよく使われるスケーリングコンセプトのアプローチを採用し、歩行者の集団移動のモデルパラメータをアリの集団移動のパラメータからスケーリングする最初の試みも行った。

Victor ら<sup>36)</sup>は双方向歩行者通路のモデリングにセルラーオートマトンマイクロシミュレーションを使用することを提案し、小さなルールセットでマイクロレベルの歩行者の行動を効果的に捉えることができ、かつ現実的なマクロレベルの活動を実現できることが示された。

Dorine ら<sup>37)</sup>は歩行者の速度と方向の変化に及ぼす前方距離、前方時間、視線方向、相互作用の歩行速度、角度、近くにいる歩行者の人数の影響を検討した。

何ら<sup>38)</sup>は生成型敵対的ネットワーク(GANs)を用いて、画像から歩行者の行動を予測するアルゴリズムを生成し、提案したGANsをLSTMとCNNを組み合わせた従来手法と比較したところ、良い結果が出るようになった。

Mehdi ら<sup>39)</sup>は従来のアプローチよりも単純であるが、個人の軌跡と集団の運動パターンを予測し、多くの経験的・実験的データと良い定量的一致を示す歩行者モデルを提案した。

Anders ら<sup>40)</sup>は歩行者の相互の動きを適切なビデオ記録と改良されたトラッキングソフトウェアに基づいて、進化的最適化アルゴリズムを適用し、社会力モデルの最適なパラメータ仕様を決定した。

Andrea ら<sup>41)</sup>はカウンターフローとグルーピングが歩行者のダイナミクスに及ぼす複合的な影響に焦点を当てた実験を行い、流量比の増加は歩行者の速度にマイナスの影響を与えることを示唆した。

大佛ら<sup>42)</sup>はグループ歩行者の存在を考慮した歩行者行動モデルを構築し、歩行空間の評価への適用可能性について検討した。

森ら<sup>43)</sup>は横断外の事故の要因および傾向を把握するために、ドライブレコーダのデータを用いて、ドライバが歩行者に対してヒヤリハットを起こした時の、画像に写った歩行者の行動や状況から歩行者の事故要因を推測・分析した。

永井ら<sup>44)</sup>はヒヤリハットデータベース(HHDB)を用いて、自動ブレーキによる衝突回避システムを評価する手法を提案した。

堤ら<sup>45)</sup>は歩行者との衝突リスクを予測するための一つの検討として、歩行者との事故の実態を把握し、歩行者との衝突リスクにつながると思われる要因を含む代表的なヒヤリハ

ットを例示し、その時の自車両と歩行者の関係を整理した結果、急減速が必要な場面では発見時の速度が重要であることを示唆した。

播磨ら<sup>46)</sup>は追従や並列歩行といった学生のグループ特性を考慮した群衆歩行モデルを提案し、これを組み込んだマルチエージェントシミュレーション併用型GA (Genetic Algorithm) による教室配置最適化システムを構築した。

林ら<sup>47)</sup>は狭い単路での歩行者の急横断場面を対象に、ドライブレコーダを用いて収集したヒヤリハットデータベースから狭い単路での歩行者の急横断場面を抽出して、定量的に分析し、その結果に基づき、歩行者の急横断行動を表す数学モデルを提案し、その妥当性を示した。本モデルを用いることで、ヒヤリハット場面の発生を数値趣味レーションにより再現可能であり、事故やヒヤリハットの発生メカニズムを定量的に分析・解析することが可能であることを示した。

赤木ら<sup>48)</sup>は個別の潜在的リスク場面に対応する高度運転支援システムを発展させ、自転車や歩行者等の複数の交通参加者が混在する場面において、運転経験を積む熟練ドライバーのような先読み運転行動を生成するシステムを提案した。

浅野ら<sup>49)</sup>は周辺歩行者の行動を先読みした上で歩行者の移動速度を決定する移動モデルを構築した。先読み行動導入の結果、容量近傍から混雑時にかけての歩行者の行動を良好にモニタリングできていることを示した。

千葉ら<sup>50)</sup>は横断歩道のない道路を横断する歩行者の行動に関する現地調査および分析結果について述べた。

表 2-5 歩行者行動モデルに関する研究 (その1)

No.	論文名	研究者	出典・出版年月	概要
34	Age and Group-driven Pedestrian Behaviour: from Observations to Simulations	Andrea Gorini Giuseppe Vizzari Stefania Bandini	Collective Dynamics Vol.1 Page.1-16 2016.07	この研究は、加齢とグループ化が速度と近接行動に及ぼす複合的な影響について検証することを目的としたものである。その結果、不規則な流れの中では、高齢者は運動能力の低下により、成人よりも40%遅く歩くことがわかった。また、2人組の歩行速度は単身者に比べて30%遅く、これはコミュニケーションのために空間的なまとまりを維持する必要性に起因することがわかった。
35	Animal dynamics based approach for modeling pedestrian crowd egress under panic conditions	Nirajan Shrivastava Majid Sarvi Geoff Rose Martin Burd	Procedia – Social and Behavioral Sciences Val.17 Page.438-461 2011	本研究では、動物の集団力学から群衆パニックの数理モデルを導出する。このモデルの開発と検証は、パニックを起こしたアルゼンチンアリを用いた実験データによって裏付けられている。また、生物学でよく使われるスケールアップコンセプトのアプローチを採用し、歩行者の集団移動のモデルパラメータをアリの集団移動のパラメータからスケールアップする最初の試みも行っている。
36	Cellular automata microsimulation for modeling bi-directional pedestrian walkways	Victor J. Blue Jeffrey L. Adler	Transportation Research Part B: Methodological Val.35 No.3 Page.293-312 2001.03	本論文では、双方向歩行者通路のモデリングにセルラオートマトンマイクロシミュレーションを使用することを提案する。その結果、小さなルールセットでミクロレベルの歩行者の行動を効果的に捉えることができ、かつ現実的なマクロレベルの活動を表現できることが示された。
37	Operational Walking Dynamics of Crowds Modeled with Linear Regression	Dorine C. Duives Winnie Daamen Serge P. Hoogendoorn	Journal of the Transportation Research Board No.2623 Page.90-97 2017	本研究では、歩行者の速度と方向の変化に及ぼす前方距離、前方時間、視線方向、相互作用の歩行速度角度、近くにいる歩行者の人数の影響を検討した。その結果、歩行速度と近接歩行者数が歩行者の速度適応と方向適応に影響を与えることが明らかとなった。
38	GANs による歩行者の行動予測	何 巴特 馮 軒昂 北 榮輔	情報処理学会研究報告 Vol.2020-MPS-127 No.4 2020.03	本研究では、生成型敵対的ネットワーク (GANs) を用いて、画像から歩行者の行動を予測するアルゴリズムを生成する。提案したGANs を LSTM と CNN を組み合わせた従来手法と比較したところ、良い結果が出ることが分かった。

表 2-6 歩行者行動モデルに関する研究 (その2)

No.	論文名	研究者	出典・出版年月	概要
39	How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters	Mehdi Mousaïd Dirk Helbing Guy Theraulaz	PNAS Vol.108 No.17 2011.04	ここでは、行動ヒューリスティックに基づく認知科学的なアプローチを提案する。歩行者は、視線候補にある障害物の距離という視覚情報に導かれ、2つの簡単な認知的手続きを適用して歩行速度と方向を適応させることを提案する。このモデルは、従来のアプローチよりも単純であるが、個人の軌跡と集団の運動パターンを予測し、多くの経験的・実験的データと良い定量的一致を示すものである。このモデルは、一方向の車線やストップ&ゴーの波が自発的に形成されるような自己組織化現象の出現を予測するものである。また、近年の群衆災害で観測されるような、歩行者のヒューリスティックと身体衝突の組み合わせによる極端な群衆乱流の発生も予測される。
40	SPECIFICATION OF THE SOCIAL FORCE PEDESTRIAN MODEL BY EVOLUTIONARY ADJUSTMENT TO VIDEO TRACKING DATA	ANDERS JOHANSSON DIRK HELBING PRADYUMN K. SHUKLA	Advances in Complex Systems Val.10 No.2 Page.271-288 2006.09	本研究は、歩行者の相互の動きを適切なビデオ記録と改良されたトラッキングソフトウェアに基づいて、進化的最適化アルゴリズムを適用し、社会力モデルの最適化パラメータ仕様を決定した。そして、較正されたモデルは、避難シナリオ、巡礼、都市環境などの大規模な歩行者シミュレーションに使用した。
41	Social Groups and Pedestrian Crowds: Experiment on Dyads in a Counter Flow Scenario	Andrea Gorriani Luca Crociani Claudio Feliciani Pengfei Zhao Katsuhiko Nishinari Stefania Bandini	Proceedings of the 8th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics No.41 2016.10	本研究では、カウンターフローとグルーピングが歩行者のダイナミクスに及ぼす複合的な影響に焦点を当てた実験の結果を紹介した。その結果、流量比の増加は歩行者の速度にマイナスの影響を与えることがわかった。これは、逆流が発生した場合、グループメンバー間の運動協調が困難になるためである。
42	グループ歩行者の存在を考慮した歩行者行動モデル	大佛 俊泰 竹内 友菜 金子 弘幸	日本建築学会計画系論文集 Val.85 No.777 Page.2319-2328 2020.11	本稿では、グループ歩行者の存在を考慮した歩行者行動モデルを構築し、歩行空間の評価への適用可能性について検討することを目的とした。結論として、心理的ストレスに基づく歩行者行動モデルは、実際の歩行者空間における群集流動解析に適用できる可能性が高いことが分かりました。しかし、商業施設など他の施設では、歩行者の属性や歩行特性、集団構成が本研究とは異なる可能性があることがわかった。
43	ドライブレコーダを用いた横断歩道外の歩行者行動分析とモデル化の検討	森 博子 小里 明男 山下 真彦 倉橋 哲郎 町田 貴史 北岡 広宣 朝倉 康夫	自動車技術会論文集 Val.41 No.4 Page.915-920 2010	本研究では、横断歩道の事故の要因および傾向を把握するために、ドライブレコーダのデータを用いて、ドライバーが歩行者に対してヒヤリハットを起こした時の、画像に写った歩行者の行動や状況から歩行者の事故要因を推測・分析した。その結果、認知エラーとして「他事に夢中」「慌てていた」「ぼんやり」の3種類、判断エラーとして「TTCの判断ミス(車両は等速)」「TTCの判断ミス(車両の速度変化)」「優先意識」「こないだろう」の4種類、合計7種類の事故要因を推測した。
44	ヒヤリハットデータベースを基にした対歩行者・自転車事故回避システムの評価手法の検討	永井 正夫 ボンサトーン ラクシンチャ ランサク 林 隆三 石崎 由也	自動制御連合講演会講演論文集 第54回自動制御連合講演会 2011.11	本研究では、ヒヤリハットデータベース(HHDB)を用いて、自動ブレーキによる衝突回避システムを評価する手法を提案した。HHDBの事故データから、実際に歩行者・自転車が飛び出してきた条件を再現し、自動ブレーキによって車が停止するまでの距離を計算することで、事故が回避できたかを評価した。この手法によって、現在の衝突システムによる事故低減効果が分かり、今後必要になるシステムの仕様が明らかになる。
45	ヒヤリハットデータ分析による歩行者の道路横断推定に向けた歩行者行動分析	堤 成可 佐藤 桂 ラクシンチャ ランサク ボンサトーン 毛利 宏	交通・物流部門大会講演論文集 Val.24 2015	本稿では、歩行者との衝突リスクを予測するための一つの検討として、歩行者との事故の実態を把握する。結果として、歩行者の飛び出しに関するキーワードとなる要因がヒヤリハットデータからある程度確認できた。また、歩行者との衝突リスクにつながると思われる要因を含む代表的なヒヤリハットを例示し、その時の自車両と歩行者の関係を整理した結果、急減速が必要な場面では発見時の速度が重要であることが示唆された。
46	学生のグループ特性を考慮した群衆歩行シミュレーションと教室配置最適化への応用	播磨 大輝 前川 廣太郎 延原 肇	情報処理類論文集 Val.57 No.3 Page.1040-1048 2016.03	本論文では、追従や並列歩行といった学生のグループ特性を考慮した群衆歩行モデルを提案し、これを組み込んだマルチエージェントシミュレーション併用型GA (Genetic Algorithm) による教室配置最適化システムを構築する。その結果、学生の移動に要する時間がランダムな配置に比べて約3割短縮された。さらに、シミュレーションの様子をUnityを用いて視覚化したことで、学生の移動実態を容易に把握することが可能となった。

表 2-7 歩行者行動モデルに関する研究（その3）

No.	論文名	研究者	出典・出版年月	概要
47	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	林 隆三 青柳 宗一郎 高梨 宏之 永井 正夫	自動車技術会論文集 Val.47 No.2 Page.579-585 2013.03	本研究は、狭い単路での歩行者の急横断場面を対象に、ドライブレコーダを用いて収集したヒヤリハットデータベースから狭い単路での歩行者の急横断場面を抽出して、定量的に分析し、その結果に基づき、歩行者の急横断行動を表す数学モデルを提案し、その妥当性を示した。本モデルを用いることで、ヒヤリハット場面の発生を数値趣味レーションにより再現可能であり、事故やヒヤリハットの発生メカニズムを定量的に分析・解析することが可能であることを示した。
48	先読み運転支援を可能にするための逆衝突確率モデルを用いた経路計画手法に関する研究	赤木 康宏 ラクシンチャ ランサク ボンサトーン	自動車技術会論文集 Val.48 No.4 Page.859-865 2017	本研究では、個別の潜在的リスク場面に対応する高度運転支援システムを發展させ、自転車や歩行者等の複数の交通参加者が混在する場面において、運転経験を積む熟練ドライバーのような先読み運転行動を生成するシステムを提案する。結果として、衝突余裕時間の短い対象を優先的に回避するという従来は対応できなかった場面に対する経路計画を実現した。
49	先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション	浅野 美帆 桑原 雅夫	生産研究 Val.59 No.3 Page.184-187 2007	本研究では、周辺歩行者の行動を先読みした上で歩行者の移動速度を決定する移動モデルを構築した。先読み行動導入の結果、容量近傍から混雑時にかけての歩行者の行動を良好にモニタリングできていることを示した。
50	歩行者の横断歩道外道路横断行動の分析	千葉 和太 中村 翔輝 林 隆三	交通・物流部門大会講演論文集 Val.25 2016	本論文では、横断歩道のない道路を横断する歩行者の行動に関する現地調査および分析結果について述べる。その結果、横断角度、速度、車両の動きとの関係などの歩行者行動の特徴を見出すことができた。

## 2-2 本研究の位置づけと意義

本研究は、通学路を高所から撮影した動画を用い、小学生の登下校時の行動から小学生の行動特性を把握し行動モデルを構築したものである。Dorine ら<sup>37)</sup>の重回帰分析を用いた歩行者の行動モデルを参考にし、グループの人数や通行時間などの小学生特有の説明変数を加えることで小学生の行動の要因を検討した。

はじめに、研究対象とする小学生の行動や意識について検討を行う必要がある。小学生の行動の要因を検討するために、子供に関する研究をレビューすることで大人と子供の行動には差異があることや通学時のグループ人数が行動の要因になりうることを把握した。さらに、通学時の遊び行動が子供たちの精神的健康において重要な意味を持つことが分かった。加えて、通行時の各種要因が子供たちの行動に与えている影響を定量的に把握しモデルを構築するために歩行者の行動モデルに関する研究のレビューを行った。その結果、森らの自動車のドライブレコーダに撮影された映像から歩行者の急横断をモデル化した研究や大佛らのグループ歩行者の存在を考慮した研究において述べられているが、通学路における小学生の行動を対象とした歩行者行動モデルについての研究は極めて少ない状況にあるといえる。

以上のように、本研究は既存研究とは異なる目的意識によって実施するものであり、既存の行動モデルに小学生特有の行動要因を変数として追加することで、複雑な小学生の行動を予測するために着目すべき要因を明らかにする点で、本研究は既存研究と一線を画すのである。

## 第2章の参考文献・参考資料

- 1) 大谷 亮, 橋本 博, 岡田 和未, 小林 隆, 岡野 玲子: 学習場面における道路横断行動に見られる児童の学年差, 交通心理学研究, Val.33, No.1, Page.1-12, 2017.
- 2) 海野 遥香, 三輪 倅代, 橋本 成仁: 子どもの遊び・学外活動と QOL の関係に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Val.75, No.6, Page.I\_425-I\_431, 2020.
- 3) 鈴木 舞衣, 薬袋 奈美子: 子どもの遊びと遊び場選択に関する研究, 都市計画報告集, Val.75, No.6, Page.84-89, 2022.
- 4) 尹 俊到, 木多 道宏, 鈴木 毅, 関 丙昊: 子どもの遊びの分析を通じた活動の構造的・生態学的モデルの提案, 日本建築学会計画系論文集, Val.71, No.602, Page.27-34, 2006.04.
- 5) 吉田和義: 子どもの遊び行動と知覚環境の発達プロセス, 地理学評論, Val.81, No.8 Page.671-688, 2008.
- 6) 矢野 伸裕, 森 健二: 児童・生徒の学年と歩行中および自転車運転中の交通事故死傷者数の関係—進学後の変化に着目して—, 交通心理学研究, Val.35, No.1, Page.10-25, 2019.
- 7) 丹羽 高明, 高橋 武夫, 入口 豊, 長澤 国子: 子どもの外遊び時間に影響を与える要因の検討, 日本スポーツ教育学会誌, Val.6, No.1, Page.1-12, 1986.05.
- 8) 大谷 亮, 橋本 博, 岡田 和未, 小林 隆, 岡野 玲子: 児童の交通安全のための実践的・継続的教育手法とその効果—横断行動の認識を促進させるアプローチ—, 交通心理学研究, Val.28, No.1, Page.8-21, 2012.
- 9) 岡本 卓也, 林 幸史, 藤原 武弘: 写真投影法による子どもの危険認知の把握, コミュニティ心理学研究, Val.18, No.1, Page.21-41, 2014.
- 10) 稲垣 具志, 小早川 悟, 寺内 義典, 和田 大輔: 車両認知条件に着目した子どもの道路横断判断特性に関する研究, 交通工学論文集, Val.3, No.2, Page.A\_215-A\_222, 2017.02.
- 11) 野本 浩太郎, 石野 陽子: 小学校高学年児童における遊び能力と社会的スキルの心理学的研究, 教育総合臨床研究, Page.75-88, 2015.
- 12) 大谷 亮: 焦点化訓練が低学年児童の道路横断行動に及ぼす影響, *Japanese Journal of Applied Psychology*, Val.42, No.2, Page.101-111, 2016.
- 13) 齊藤 彩: 中学生の不注意および多動性・衝動性と内在化問題との関連—学校ライフイベントと自尊感情を媒介として—, 教育心理学研究, Val.63, No.3, Page.217-227, 2015.
- 14) 瀬藤 乃介, 谷口 綾子, 石田 東生: 通学状況が子どもの心身の健康に与える影響, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Val.75, No.5, Page.I\_1069-I\_1079, 2019.
- 15) 水月 昭道: 異なる通学路環境に対する質的評価の違いについて—特定の児童グループによる道の使い分けと発言に注目して—, 立命館人間科学研究, Val.13, Page.9-20, 2007.
- 16) 水月 昭道, 南 博文: 下校路に見られる子どもの道草遊びと道環境との関係, 日本建築学会計画系論文集, Val.68, No.574, Page.61-68, 2003.12.



- 17) 加藤 民央, 金 利昭: 狭隘な通学路の交通安全対策に対する地域住民の意識分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Val.74, No.5, Page.I\_1339-I\_1348, 2018.
- 18) 樋口 恵一, 三村 泰広, 安藤 良輔: 交通事故と犯罪の発生件数に影響する地域特性の抽出に関する研究—豊田市の小学校区を対象にしたケーススタディー, 交通工学論文集, Val.2, No.2, Page.A\_193-A\_198, 2016.02.
- 19) 大西 宏樹, 藤生 慎: 交通事故統計データを利用した子供の歩行中事故要因に関する基礎的分析, AI・データサイエンス論文集, Val.2, No.J2, Page.848-855, 2021.
- 20) 萩田 賢司: 通行目的別に比較した小学生の交通事故と移動時間, 交通工学論文集, Val.6, No.5, Page.1-10, 2020.07.
- 21) 稲垣 具志: 子どもの道路横断時の判断能力と安全教育の在り方, 福祉のまちづくり研究, Val.21, No.2, Page.34-37, 2019.
- 22) 稲垣 具志, 小早川 悟, 寺内 義典, 青山 恵里: 子どもの道路横断判断に関する情報提供による保護者の意識への影響分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Val.72, No.5, Page.I\_985-I\_992, 2016.
- 23) 小池 洋平, 浜岡 秀勝, 清水 浩志郎: 子供の視点を考慮した安全な歩行空間に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 2003.
- 24) 小竹 雄介, 日野 泰雄, 吉田 長裕: 児童生徒の自転車利用意識と交通安全教育の課題に関する調査研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Val.68, No.5, Page.I\_1185-I\_1191, 2012.
- 25) 池田 勤, 近藤 隆二郎: 小中学校を対象とした子どもの道路への危険性認識と外遊び体験との関係に関する研究, 環境システム研究論文集, Val.33, Page.487-493, 2005.
- 26) 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, Val.44, No.10, Page.871-879, 1993.
- 27) 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 (土木計画学), Val.71, No.5, Page.I\_665-I\_671, 2015.
- 28) 吉城 秀治, 辰巳 浩, 堤 香代子, 糸永 匠汰: 地域住民からみた住区内道路における道遊びに対する意識, 都市計画論文集, Val.54, No.3, Page.672-679, 2019.10.
- 29) 宮崎 萌, 森本 章倫: 通学路で発生した子供の交通事故に関する実証的研究, 都市計画論文集, Val.51, No.3, Page.649-654, 2016.10.
- 30) 吉城 秀治, 辰巳 浩, 堤 香代子: 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, Val.52, No.3, Page.879-886, 2017.10.
- 31) 村松 尚人, 杉木 直, 松尾 幸二郎, 水谷 晃啓: 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, 交通工学論文集, Val.5, No.2, Page.A\_233-A\_241, 2019.02.
- 32) 萩田 賢司: 通行目的別に比較した小学生の交通事故と移動時間, 交通工学論文集, Val.6, No.5, Page.1-10, 2020.07.

- 33) 末益 元気, 松永 千晶, 角 知憲 : 道路の空間的特性からみた通学路における交通事故の危険性に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Val.68, No.5, Page.I\_1279-I\_1286, 2012.
- 34) Andrea Gorrini, Giuseppe Vizzari, Stefania Bandini: Age and Group-driven Pedestrian Behaviour: from Observations to Simulations, *Collective Dynamics*, Val.1, Page.1-16, 2016.07.
- 35) Nirajan Shiwakoti, Majid Sarvi, Geoff Rose, Martin Burd: Animal dynamics based approach for modeling pedestrian crowd egress under panic conditions, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Val.17, Page.438-461, 2011.
- 36) Victor J.Blue, Jeffrey L.Adler: Cellular automata microsimulation for modeling bi-directional pedestrian walkways, *Transportation Research Part B: Methodological*, Val.35, No.3, Page.293-312, 2001.03.
- 37) Dorine C. Duives, Winnie Daamen, Serge P. Hoogendoorn: Operational Walking Dynamics of Crowds Modeled with Linear Regression, *Journal of the Transportation Research Board*, No.2623, Page.90-97, 2017.
- 38) 何 巴特, 馮 軒昂, 北 榮輔 : GANs による歩行者の行動予測, 情報処理学会研究報告, Vol.2020-MPS-127, No.4, 2020.03.
- 39) Mehdi Moussaïd, Dirk Helbing, Guy Theraulaz: How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters, *PNAS*, Vol.108, No.17, 2011.04.
- 40) ANDERS JOHANSSON, DIRK HELBING, PRADYUMN K. SHUKLA: SPECIFICATION OF THE SOCIAL FORCE PEDESTRIAN MODEL BY EVOLUTIONARY ADJUSTMENT TO VIDEO TRACKING DATA, *Advances in Complex Systems*, Val.10, No.2, Page.271-288, 2006.09.
- 41) Andrea Gorrini, Luca Crociani, Claudio Feliciani, Pengfei Zhao, Katsuhiko Nishinari, Stefania Bandini: Social Groups and Pedestrian Crowds: Experiment on Dyads in a Counter Flow Scenario, *Proceedings of the 8th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics*, No.41, 2016.10.
- 42) 大佛 俊泰, 竹内 友菜, 金子 弘幸 : グループ歩行者の存在を考慮した歩行者行動モデル, 日本建築学会計画系論文集, Val.85, No.777, Page.2319-2328, 2020.11.
- 43) 森 博子, 小里 明男, 山下 真彦, 倉橋 哲郎, 町田 貴史, 北岡 広宣, 朝倉 康夫 : ドライブレコーダを用いた横断歩道外の歩行者行動分析とモデル化の検討, 自動車技術会論文集, Val.41, No.4, Page.915-920, 2010.
- 44) 永井 正夫, ポンサトーン ラクシンチャラーンサク, 林 隆三, 石崎 由也 : ヒヤリハットデータベースを基にした対歩行者・自転車事故回避システムの評価手法の検討, 自動制御連合講演会講演論文集, 第 54 回自動制御連合講演会, 2011.11.
- 45) 堤 成可, 佐藤 桂, ラクシンチャラーンサク ポンサトーン, 毛利 宏 : ヒヤリハットデータベースによる歩行者の道路横断推定に向けた歩行者行動分析, 交通・物流部門大会講演論文集, Val.24, 2015.

- 46) 播磨 大輝, 前川 廣太郎, 延原 肇: 学生のグループ特性を考慮した群衆歩行シミュレーションと教室配置最適化への応用, 情報処理額論文集, Val.57, No.3, Page.1040-1048, 2016.03.
- 47) 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, Val.47, No.2, Page.579-585, 2013.03.
- 48) 赤木 康宏, ラクシンチャラーンサク ポンサトーン: 先読み運転支援を可能にするための逆衝突確率モデルを用いた 経路計画手法に関する研究, 自動車技術会論文集, Val.48, No.4, Page.859-865, 2017.
- 49) 浅野 美帆, 桑原 雅夫: 先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション, 生産研究, Val.59, No.3, Page.184-187, 2007.
- 50) 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, Val.25, 2016.

### 第3章 小学生の交通事故の現状について

#### 3-1 小学生の交通事故の動向

本節では小学生の交通事故の現状を把握するうえで交通事故に遭った全年齢層および小学生の死者・重症者数，交通事故に遭った小学生の状態・目的別にみた死者重症者数，歩行中に交通事故に遭った全年齢層および小学生の法令違反の内容について述べる。

##### 3-1-1 小学生の交通事故の動向

図3-1は，平成23年から令和3年の10年間の交通事故に遭った全体の死者・重症者と小学生の死者・重症者の推移を示す。交通事故に遭った全年齢層の死者・重症者数は減少傾向にあり，交通事故に遭った小学生の死者・重症者数も平成24年から平成25年，平成28年から平成29年，令和2年から令和3年は増加しているが全体的にみると減少傾向にあるといえる。

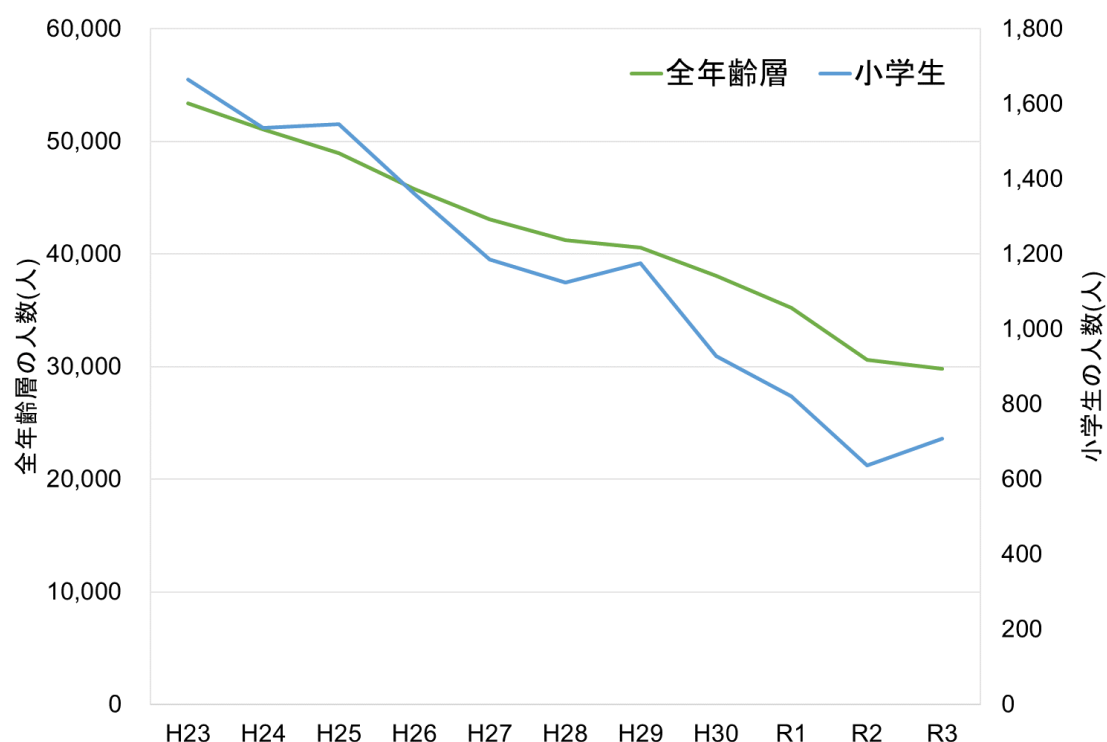


図 3-1 交通事故に遭った全年齢層と小学生の死者・重症者の推移<sup>1)</sup>

### 3-1-2 交通事故に遭った小学生の状態・目的別にみた死者・重症者数

図3-2は、平成29年から令和3年までの4年間の交通事故に遭った小学生の状態別にみた死者重症者数を示しており、歩行中が半数以上を占めていることが確認できる。また、図3-3は歩行中について平成29年から令和3年までの4年間の交通事故に遭った小学生の目的別にみた死者重症者数を示しており、登下校中が約3分の1を占めていることから小学生が歩く通行空間の安全確保の必要性が示唆できる。

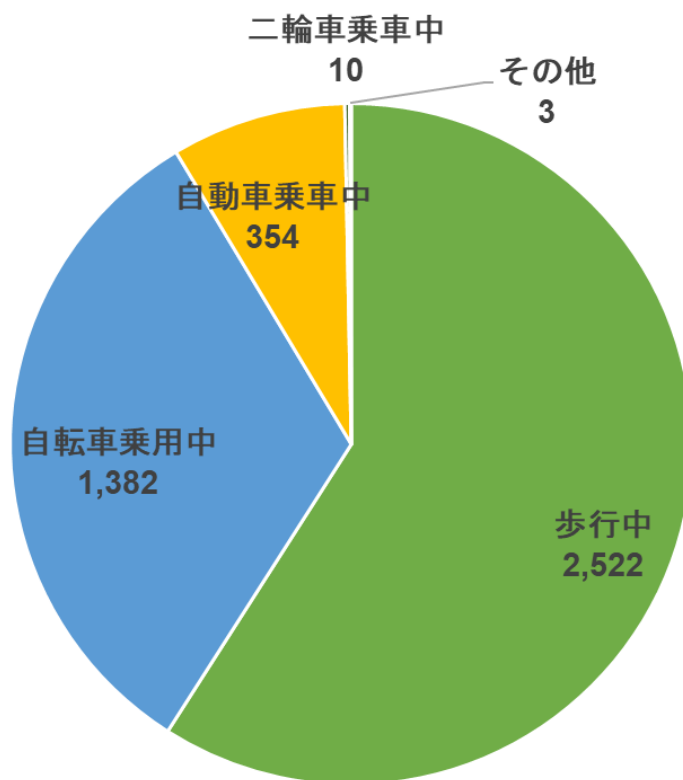


図 3-2 状態別にみた交通事故に遭った小学生の死者重症者数<sup>2)</sup>

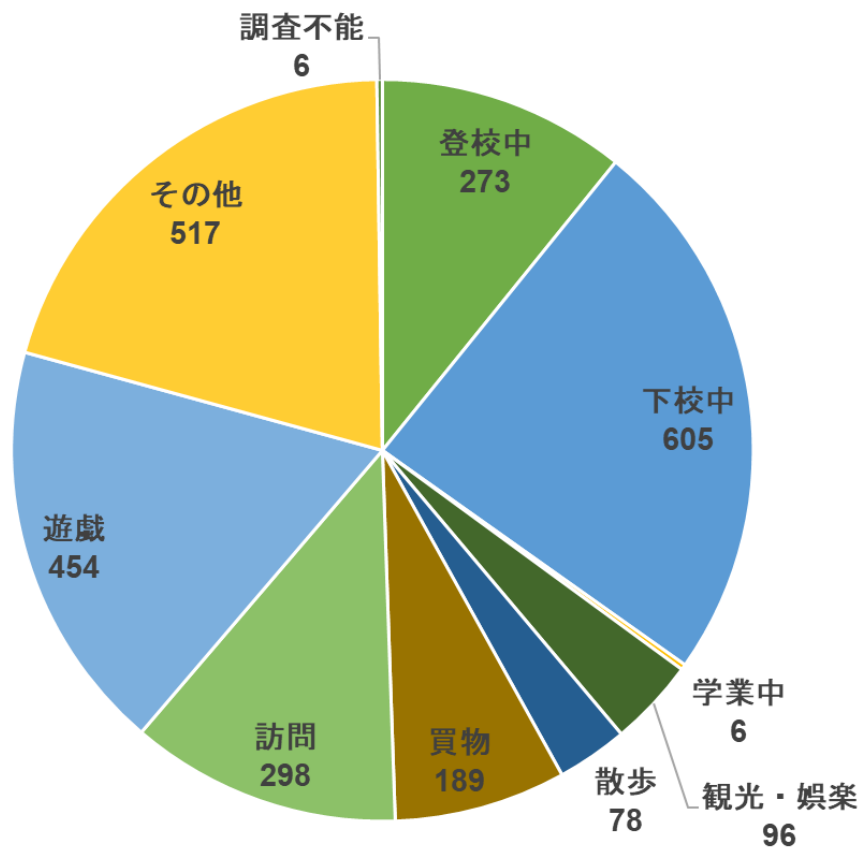


図 3-3 交通事故に遭った小学生の死者重症者数<sup>2)</sup>

### 3-1-3 歩行中に交通事故に遭った全年齢層および小学生の法令違反の内容

図3-4は、平成29年から令和3年までの4年間で歩行中に交通事故に遭った全年齢層および小学生の法令違反の内容を示している。全年齢層では違反をしていた人が約4割であるのに対し、小学生は違反をしていた人が約6割であり、全年齢層と比較して高くなる結果となった。また、小学生の法令違反は飛び出しが約4割と最多であった。

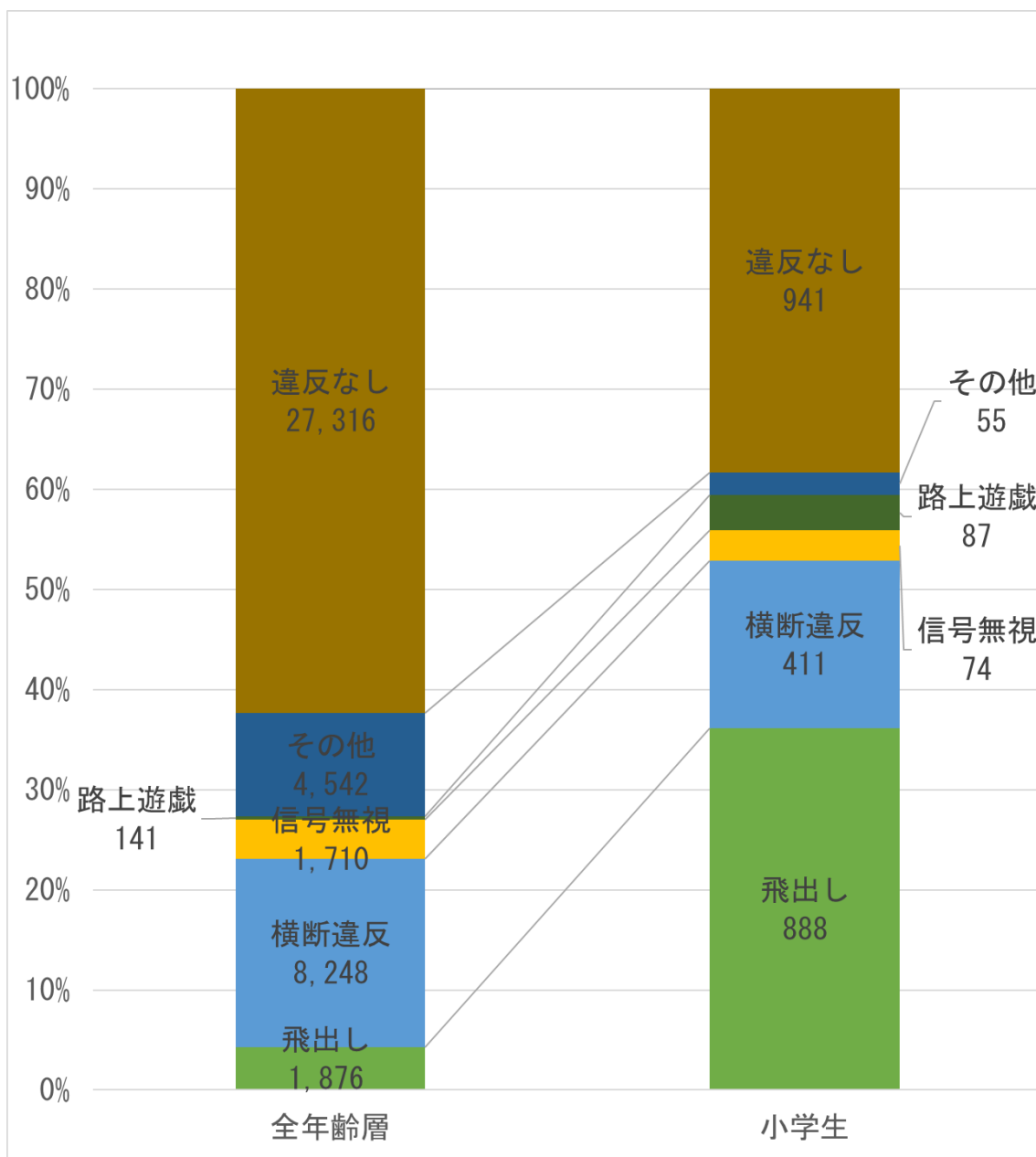


図 3-4 歩行中に交通事故に遭った全年齢層および小学生の法令違反の内容<sup>2)</sup>

### 第3章の参考文献・参考資料

- 1) 警察庁：令和3年における交通事故の発生状況等について  
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/bunseki/nenkan/040303R03nenkan.pdf>, (入手 2023.4)
- 2) 内閣府 HP：令和4年度版交通安全白書  
[https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb\\_gian.nsf/html/gian/gian\\_hokoku/20220614kotsuanzengaiyo.pdf/\\$File/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).



## 第4章 小学生の歩行軌跡について

### 4-1 歩行軌跡の概要

人物の歩行軌跡とは、各時間における画像上での人物位置の時系列データであり、時間  $t$  から  $t+3$  における人物位置  $(x,y)$  の歩行軌跡のイメージ図は図 4-1 のようになる。小学生の歩行軌跡を取得することで、小学生が経路を選択する際の要因を明らかにすることができる。

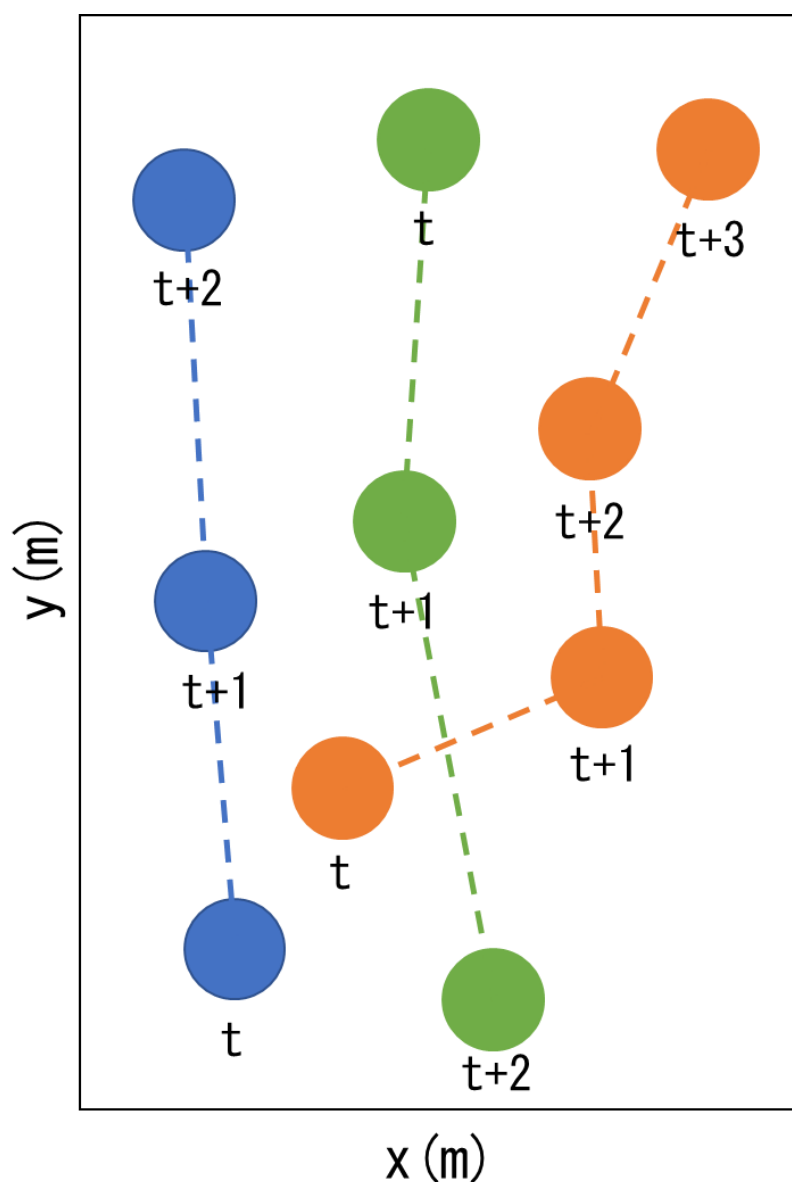


図 4-1 歩行軌跡のイメージ図

## 4-2 対象場所

本研究は、高知県香美市立土佐山田小学校前の香美市役所のHPに危険箇所として記載されている通学路を対象とし、小学生が登下校の様子を高所からビデオ撮影した。対象とした土佐山田小学校は、全校生徒458人の小学校でJR土佐山田駅の西側に位置している。対象通学路は土佐山田小学校の北側に位置しており、校門に面しているため登下校の際に多くの生徒が利用する通学路である。通学路におけるビデオ撮影の概要を表4-1に示す。また、対象通学路の位置およびそれぞれのカメラの位置を図4-2に示し、それぞれのカメラの画角を図4-3、図4-4、図4-5、図4-6に示した。ただし、図4-4について横断歩道が撮影されており他の通学路と条件が異なってしまうため、本研究では図4-3、図4-5、図4-6の画角で撮影した動画を用いることとした。

表 4-1 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 4-2 対象通学路およびそれぞれのカメラの位置 引用：国土地理院地図



図 4-3 カメラの画角①



図 4-4 カメラの画角②



図 4-5 カメラの画角③



図 4-6 カメラの画角④

### 4-3 物体追跡を用いた人物位置の取得

物体追跡とは、人物検出 AI で検出された人物に番号をつけて追跡する技術である。物体検出は、画像や動画の中に特定の物体が確認された場合に位置や種類、個数を特定することができる。製造業の外観検査、医療や建設業などに利用されることが多い技術で、身近な例では、スマホのカメラ、自動運転における歩行者の検知などにも利用されている。

#### 4-3-1 物体追跡

本研究では、物体検出アルゴリズムのひとつである YOLOv5 と人物の物体追跡を行う機械学習モデルである DeepSort を組み合わせた YOLOv5+DeepSort<sup>2)</sup>を用いて物体追跡を行った。

YOLO (You Only Look Once) とは処理速度が他のモデルより高速な物体検出アルゴリズムの 1 つである。YOLO には様々なバージョンがあり、現在では、YOLOv1~v7 までである。(2022 年 10 月時点)本研究で使用する YOLOv5 は、処理速度、精度が高くバランスの良いモデルで、Python のオープンソース機械学習ライブラリの PyTorch を使用している。

また、DeepSort<sup>3)</sup>とは、開発者である独コブレンツラング大学、豪クイーンズランド工科大学の研究チームが、リアルタイムで人物の追跡を可能とした Sort(2016)の長期間のオクルージョンなどがあつたときに ID のスイッチングがよく起きてしまい、精度が悪化してしまうという問題点を改善し開発したモデルである。これにより、長期間のオクルージョンなどでも追跡を可能とし、ID のスイッチをおさえることができる。

YOLOv5 モデルは多くの種類があり、図 4-7 のようにモデルの推論速度と精度が異なる。本研究では、高速かつ高精度の YOLOv5l6 を用いる。

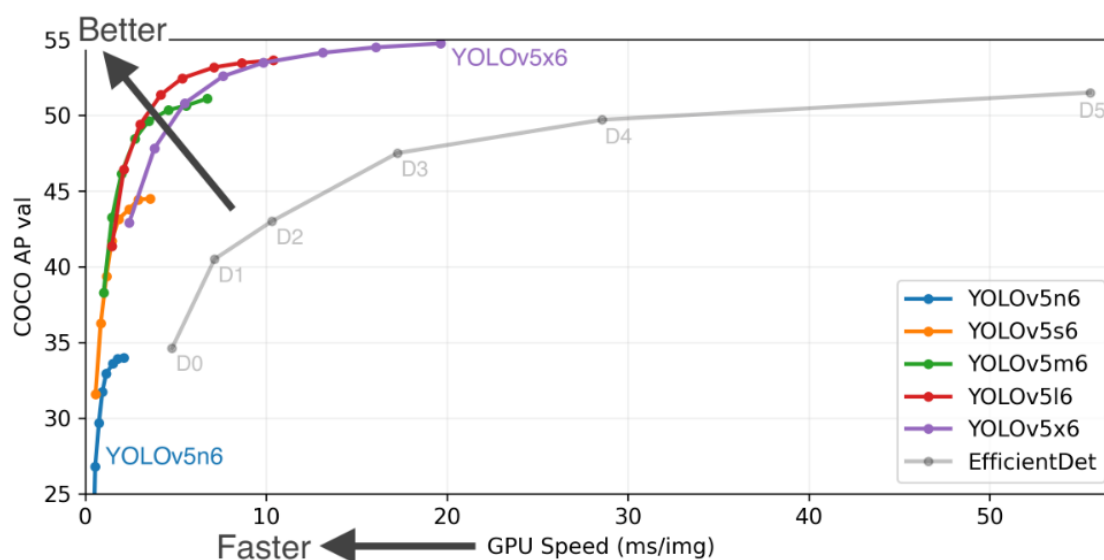


図 4-7 YOLOv5 モデルの推論速度と精度の関係<sup>3)</sup>

加えて、YOLOv5 モデルは物体検出を行うために、人物の画像とその名前を合わせて学習させる必要があるが、本研究では Microsoft 社が公開している学習済みデータセット（通称 MS COCO dataset）<sup>4)</sup>を用いて物体検出を行った。MS COCO dataset で検出することのできる人物を表 4-2 に示す。小学生はリストに含まれていないため、はじめに人のみを物体追跡し出力結果より人のデータの中から小学生のデータを抽出した。

表 4-2 検出可能な人物のリスト<sup>4)</sup>

ID	OBJECT	ID	OBJECT	ID	OBJECT	ID	OBJECT
1	person	24	zebra	47	cup	70	toilet
2	bicycle	25	giraffe	48	fork	71	door
3	car	26	hat	49	knife	72	tv
4	motorcycle	27	backpack	50	spoon	73	laptop
5	airplane	28	umbrella	51	bowl	74	mouse
6	bus	29	shoe	52	banana	75	remote
7	train	30	eye glasses	53	apple	76	keyboard
8	truck	31	handbag	54	sandwich	77	cell phone
9	boat	32	tie	55	orange	78	microwave
10	traffic light	33	suitcase	56	broccoli	79	oven
11	fire hydrant	34	frisbee	57	carrot	80	toaster
12	street sign	35	skis	58	hot dog	81	sink
13	stop sign	36	snowboard	59	pizza	82	refrigerator
14	parking meter	37	sports ball	60	donut	83	blender
15	bench	38	kite	61	cake	84	book
16	bird	39	baseball bat	62	chair	85	clock
17	cat	40	baseball glove	63	couch	86	vase
18	dog	41	skateboard	64	potted plant	87	scissors
19	horse	42	surfboard	65	bed	88	teddy bear
20	sheep	43	tennis racket	66	mirror	89	hair drier
21	cow	44	bottle	67	dining table	90	toothbrush
22	elephant	45	plate	68	window	91	hair brush
23	bear	46	wine glass	69	desk		

### 4-3-2 物体追跡の結果

対象である3か所の画角から撮影したそれぞれの動画について、YOLOv5+DeepSortを用いて人の追跡を行った結果を図4-8、図4-9、図4-10に示す。バウンディングボックスには左からID、物体名、その物体である確率が表示されている。それぞれの図を見ても人を検知し追跡できていることがわかる。

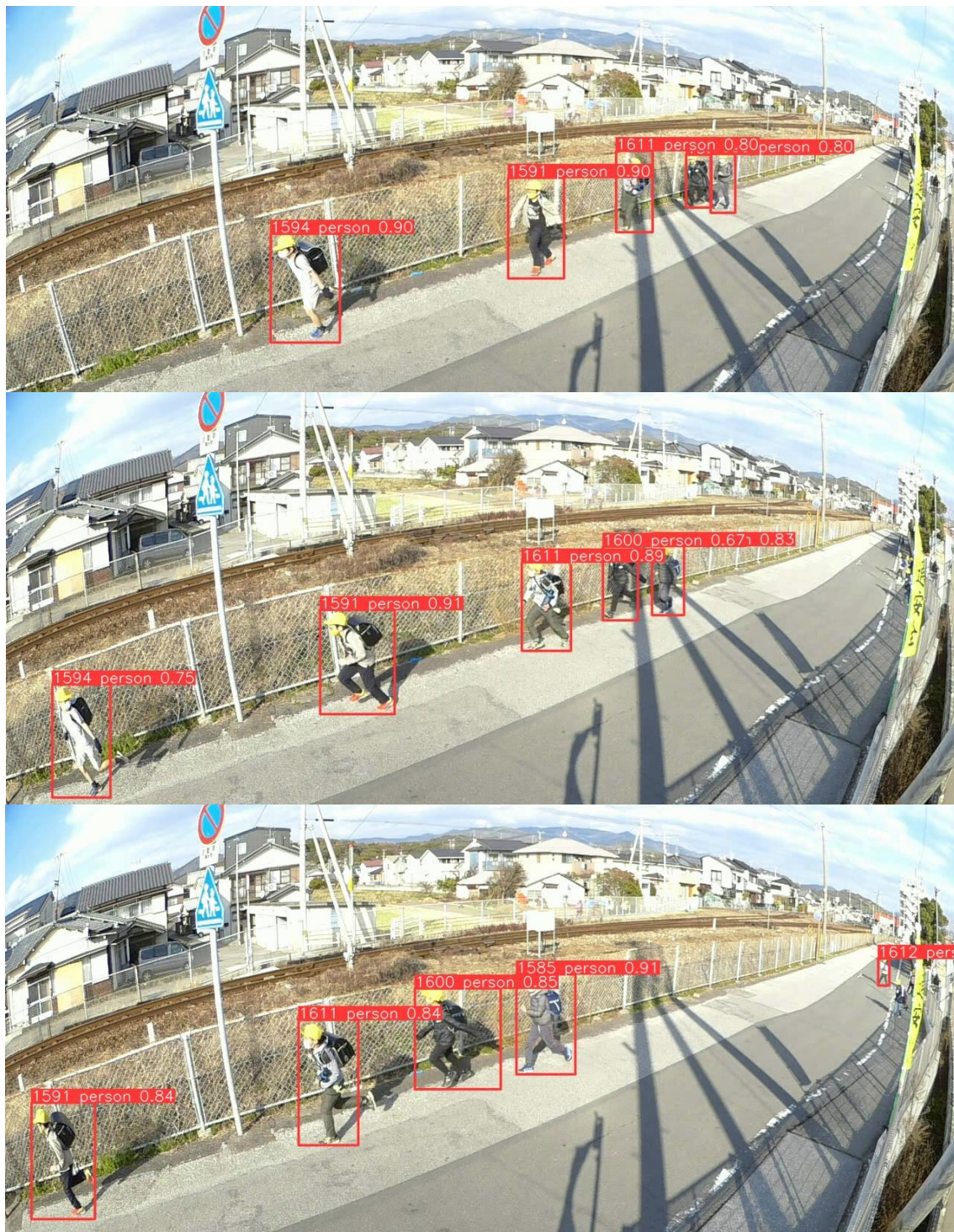


図 4-8 画角①における物体追跡の結果

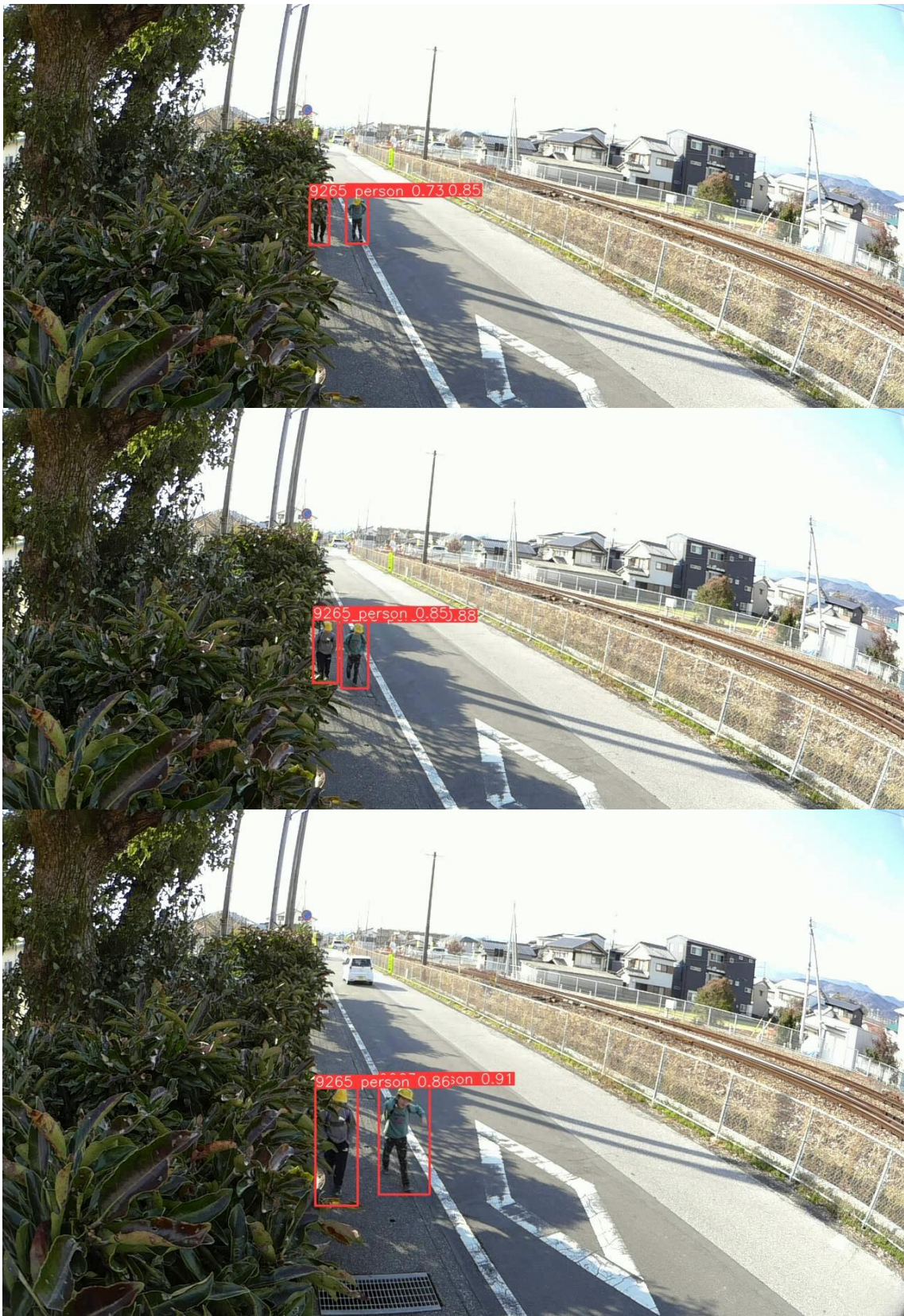


図 4-9 画角③における物体追跡の結果



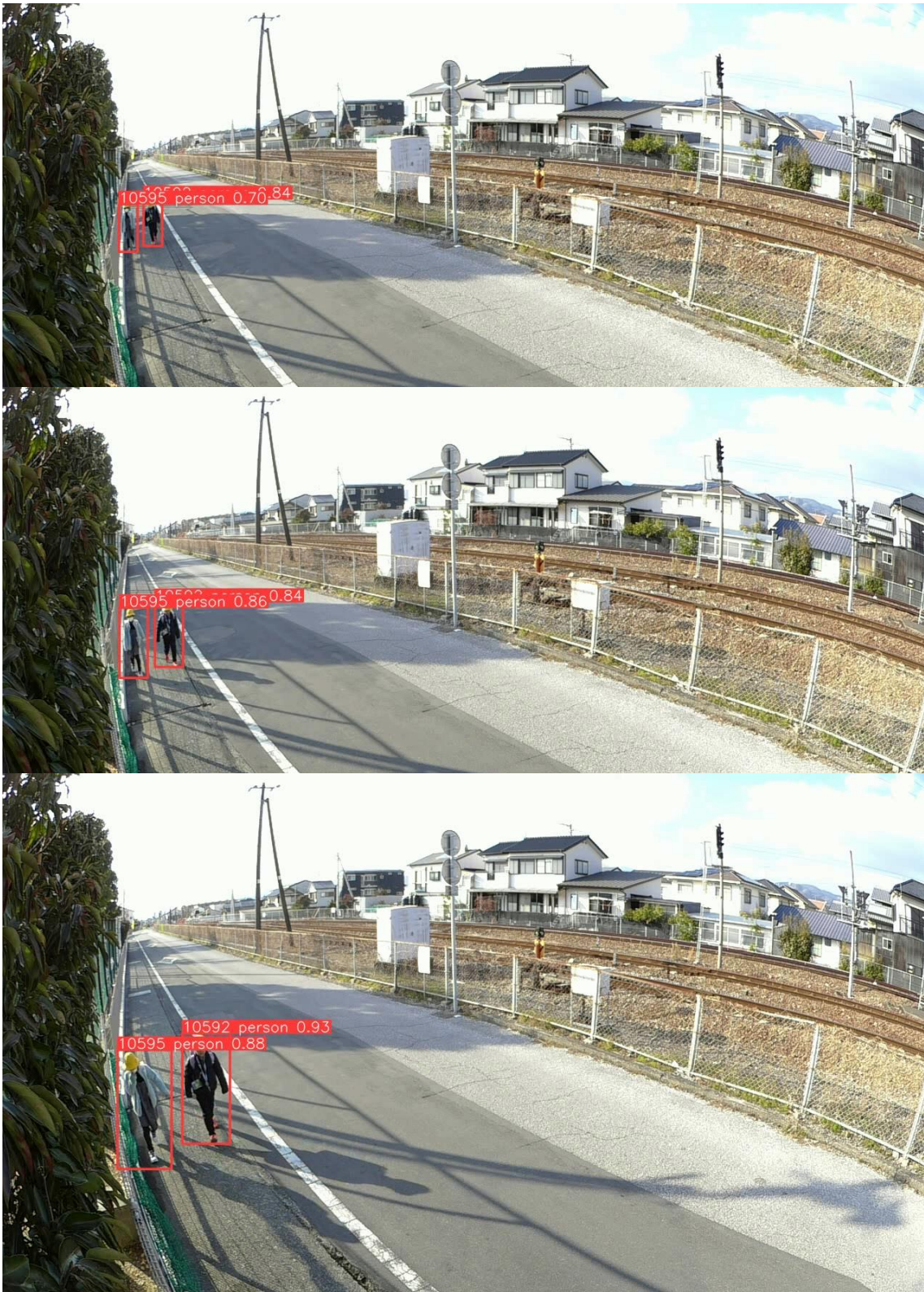


図 4-10 画角④における物体追跡の結果

### 4-3-3 位置座標の出力結果

YOLOv5+DeepSort を用いた物体追跡より、動画上での人の歩行位置について csv に出力した結果を表 4-3 に示す。左からフレーム、ID、x 座標 (単位 pixel)、y 座標 (単位 pixel) である。フレームは、1 フレーム 1/30 秒であり、ID は、同一 ID であれば同一人物の歩行位置を示している。さらに、座標は動画の左上を原点とした動画上での人の歩行位置であり、バウンディングボックスにおける底辺の中心座標で単位は pixel である。

表 4-3 歩行位置の出力結果

フレーム	ID	x(pixel)	y(pixel)
240465	1948	1057	497
240465	1954	1104.5	507
240465	1961	884.5	278
240466	1948	1052	496
240466	1954	1107.5	499
240467	1948	1052	496
240467	1954	1107.5	499
240468	1948	1050	497
240468	1954	1110	492
240469	1948	1047	497
240469	1954	1110.5	489
240469	1961	862.5	284
240470	1948	1046	500
240470	1954	1109	494
240470	1961	859.5	287
240471	1948	1044	502
240471	1954	1107.5	495
240471	1961	856.5	287

#### 4-3-4 IDの誤変換

YOLOv5+DeepSort を用いた物体追跡では図 4-1-1 や図 4-1-2 のように同じ人物が移動していても動画中で ID が変更されることや、異なる人物同士で ID が入れ替わってしまうという現象が多々見受けられる。前者に関して、出力結果の動画から ID をマッチングさせ、変更された ID を最初に与えられた ID に手作業で変換することで同一人物の歩行軌跡とした。また、後者に関して ID が入れ替わりを追うのは難しく ID の変換は困難であるため本研究では取得したそのままの値を用いることとした。



図 4-1-1 IDの変換



図 4-1-2 IDの入れ替わり

#### 4-4 射影変換を用いた人物位置の単位変換

動画より通過している人物位置を取得することができたが、その人物位置を用いて歩行軌跡を作成す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歩行軌跡と異なった図が作成される。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である。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、4つの頂点の座標の対応からその変換式を求めることができる。さらに、その変換式に変換前の位置座標を代入することで変換後の位置座標を算出することができる。

##### 4-4-1 射影変換

本研究では、pythonのOpenCVライブラリを用いて射影変換を行った。まず、動画より図4-13、図4-14、図4-15内の赤線で囲んだ範囲のように射影変換を行う範囲を決定する。なお、射影変換の対象は四角形のみであるため図4-13のような多角形は四角形を組み合わせることで射影変換を行った。



図 4-13 画角①における射影変換の範囲



図 4-14 画角③における射影変換の範囲

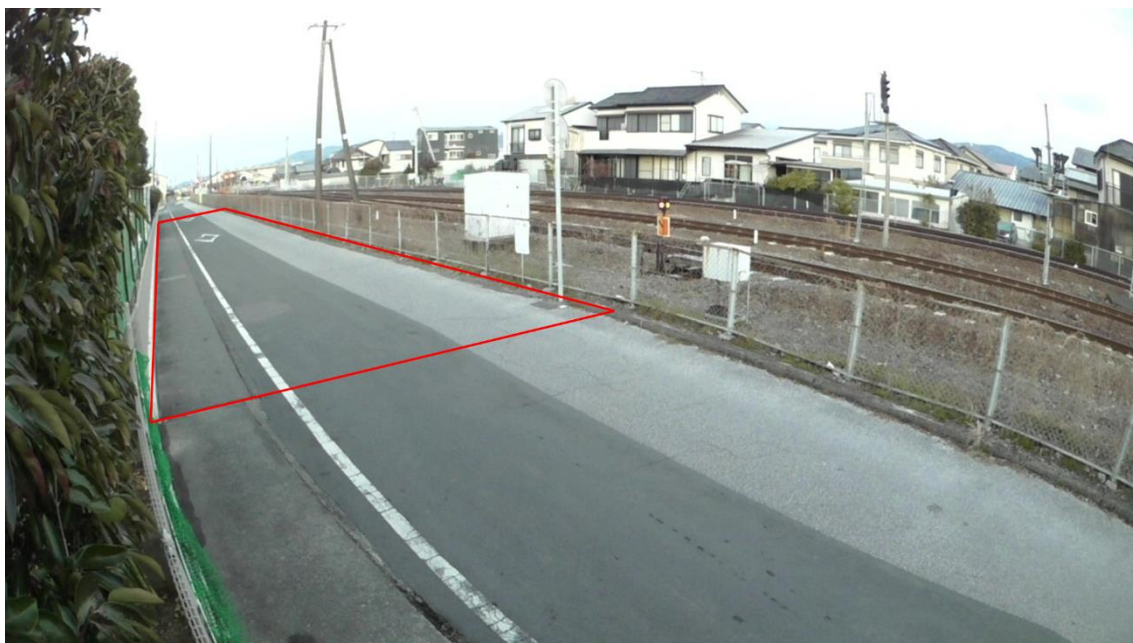


図 4-15 画角④における射影変換の範囲

次いで、射影変換する範囲の頂点の座標を求め、射影変換後の実際の位置と対応させ射影変換を行う図4-13, 図4-14, 図4-15をそれぞれ射影変換した画像を図4-16に示す。図4-16よりそれぞれの画像が真上から取得したような画像に変換されていることがわかる。

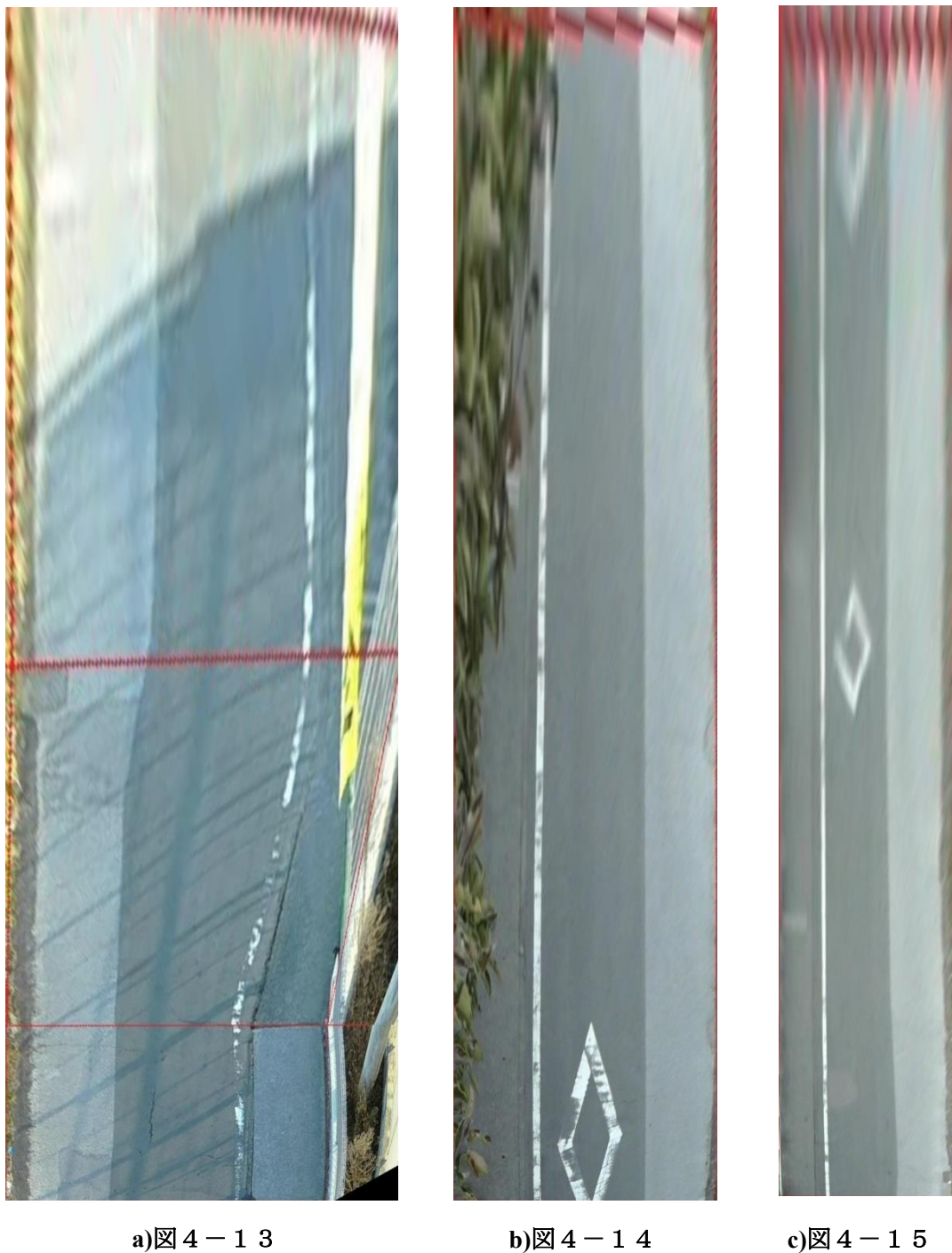


図4-16 図4-13～15を射影変換した結果

#### 4-4-2 位置座標の単位変換

本節では、前節で行った射影変換を基に変換式を用いて動画上の座標から実際の距離へ単位変換を行う。一般に、任意の座標(x,y)が射影変換によって(x',y')に移るとき、パラメータa,b,c,d,e,f,g,hを用いてそれぞれ式(4-1)、式(4-2)で表される。

$$x' = \frac{ax + by + c}{gx + hy + 1} \quad \text{式(4-1)}$$

$$y' = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + 1} \quad \text{式(4-2)}$$

任意の四角形(x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>),(x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>),(x<sub>3</sub>,y<sub>3</sub>),(x<sub>4</sub>,y<sub>4</sub>)が任意の四角形(x'<sub>1</sub>,y'<sub>1</sub>),(x'<sub>2</sub>,y'<sub>2</sub>),(x'<sub>3</sub>,y'<sub>3</sub>),(x'<sub>4</sub>,y'<sub>4</sub>)に変形されるものとして、連立方程式を解けばパラメータを算出することができ、式が作成可能となるのでその式を用いて単位変換を行う。表4-3を単位変換した結果を表4-4に示す。単位変換後の座標の単位はcmである。

表 4-4 表 4-3 を単位変換した結果

フレーム	ID	x(cm)	y(cm)
240465	1948	474.4365095	221.1178241
240465	1954	525.4921762	238.2918481
240465	1961	36.9656866	592.1019984
240466	1948	470.9940297	220.6071181
240466	1954	523.7805268	253.3585992
240467	1948	469.1608795	219.2508779
240467	1954	523.7805268	253.3585992
240468	1948	468.0271386	216.3858091
240468	1954	522.0978698	266.9743126
240469	1948	465.2993094	214.3718629
240469	1954	520.781021	272.5323321
240469	1961	35.35755881	532.1125328
240470	1948	466.4754801	209.2356593
240470	1954	522.3001891	262.8213578
240470	1961	40.51416872	516.400032
240471	1948	466.0542792	204.9798257
240471	1954	521.4074186	260.0255906
240471	1961	38.2884804	511.9505563

#### 4-5 歩行軌跡

前項で取得した小学生の歩行位置より歩行軌跡を作成した。全3日間で1569人（重複あり）の歩行軌跡を作成することができた。登下校ごとに分けた全日程の小学生の歩行軌跡を図4-17～図4-19に示す。グラフ上の黒い線が歩道と車道を分ける白線であり、グラフより下校時は登校時に比べて車道を歩行する生徒が多いことが分かった。これについて、小学生は歩道の有無や危険かどうかに関係なく目的地の方へ行くという意識が強いのではないかと考える。

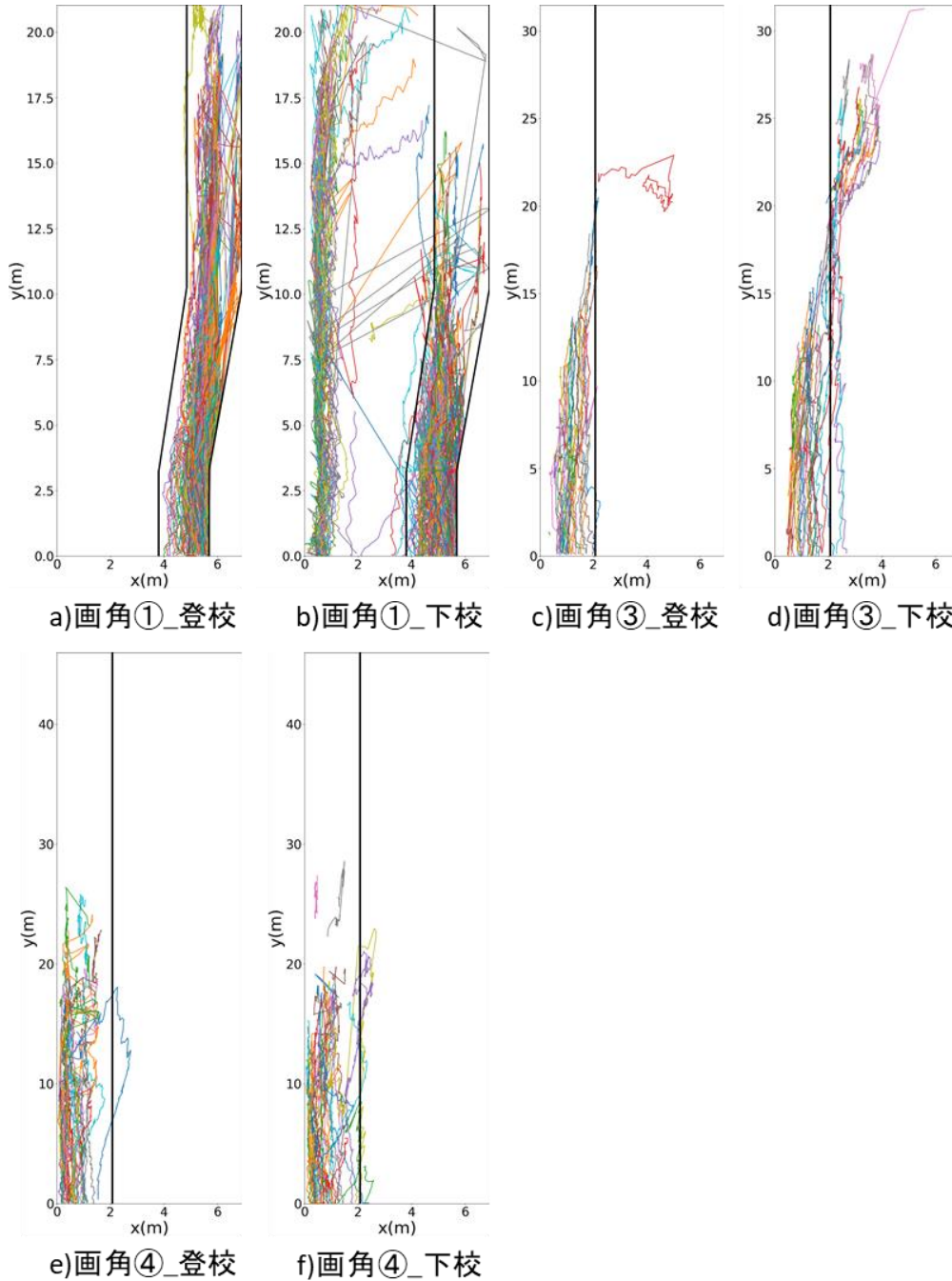


図 4-17 1月13日の小学生の歩行軌跡



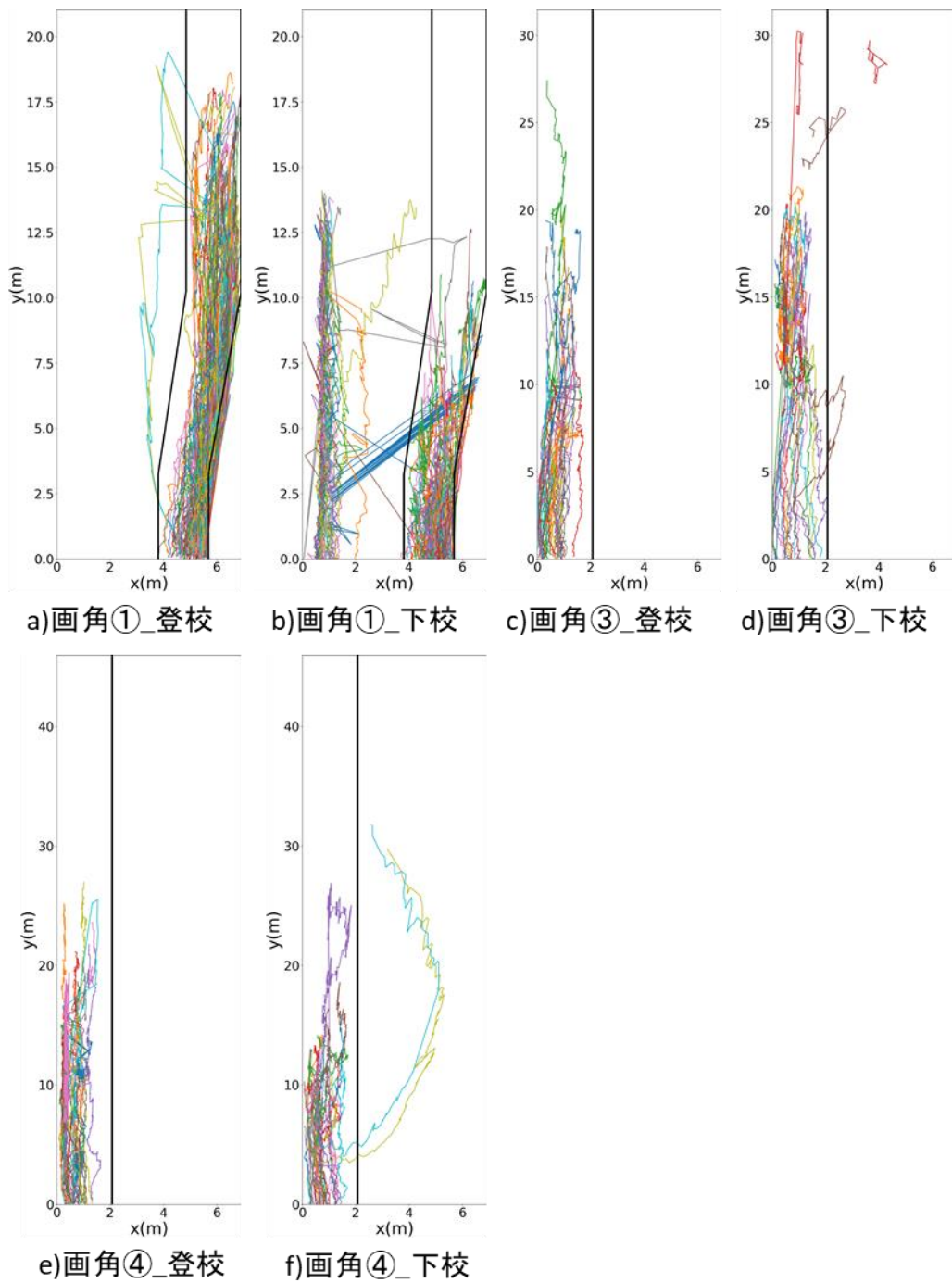


図 4-18 2月16日の小学生の歩行軌跡

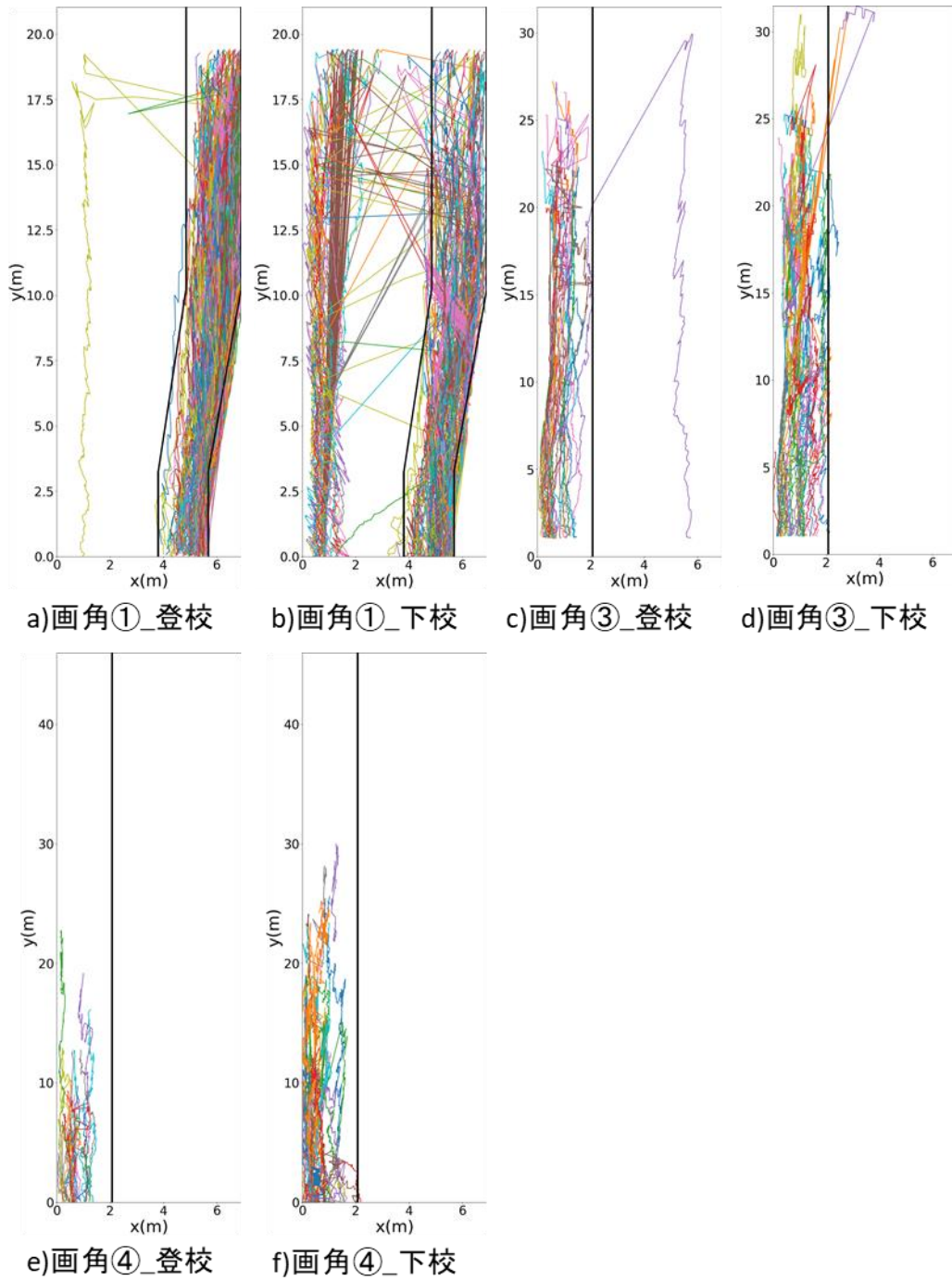


図 4-19 3月18日の小学生の歩行軌跡

#### 4-6 第4章のまとめ

本章では、YOLOv5+DeepSort を用いて小学生の追跡を行うことで、小学生の歩行軌跡を作成した。

初めに、YOLOv5+DeepSort を用いて小学生の追跡を行ったが、出力結果より ID の誤追跡が起こっている場面が多くみられた。これは、カメラの画質や画角などの影響が考えられ、より高精度のカメラで高所から撮影することにより改善が期待される。

次いで、射影変換より物体追跡で取得したデータを単位変換した。単位変換することで動画から取得した位置データを真上から撮影した位置データとして扱うことが可能となった。

さらに、単位変換した結果を基に小学生の歩行軌跡を作成した結果、登校時には歩道を歩いている小学生がほとんどだったが、下校時には登校時に比べて路肩を歩いている小学生が多いことを可視化できた。これより、小学生は歩道の有無や危険かどうかに関係なく目的地の方へ行くという意識が強いことが示唆できた。

第5章では、第4章で得た小学生の位置データより被説明変数と説明変数を算出し、重回帰分析を行い、小学生の行動特性を把握する。

## 第4章の参考文献・参考資料

- 1) 香美市役所 HP :【交通安全対策（地区内連携）】高知県香美市土佐山田町・土佐山田地区 [https://www.city.kami.lg.jp/uploaded/life/26023\\_80030\\_misc.pdf](https://www.city.kami.lg.jp/uploaded/life/26023_80030_misc.pdf), (入手 2023.3.1)
- 2) Mikel Broström:Real-time multi-camera multi-object tracker us-ing YOLOv5 and StrongSORT with OSNet.  
[https://github.com/mikel-brostrom/Yolov5\\_StrongSORT\\_OSNet](https://github.com/mikel-brostrom/Yolov5_StrongSORT_OSNet), (参照 2022.5.27).
- 3) Wojke, Nicolai, Alex Bewley, Dietrich Paulus:Simple online and realtime tracking with a deep association metric, *2017 IEEE international conference on image processing (ICIP)*. IEEE, 2017.
- 4) Ultralytics HP  
<https://github.com/ultralytics/yolov5>, (参照 2023.1.18)
- 5) Microsoft COCO (Common Objects in Context) HP  
<https://cocodataset.org/>, (参照 2023.1.18)

## 第5章 小学生の行動特性の把握

### 5-1 本章の目的

現在、小学生の交通事故による死者・重症者数は年々減少傾向にあるが、全年齢層と比較して違反ありの割合が多く、違反内容は飛び出しが最も多くなっている。加えて、第2章が示したように、小学生の行動は予測しづらいためこのような交通事故を減少させるためには歩行中の小学生の行動特性を把握する必要がある。

そこで本章では、Dorine ら<sup>1)</sup>が提唱した重回帰分析を用いた歩行者行動モデルを基に小学生の行動特性を把握する。具体的には、歩行者の歩行位置と通過時間を基に説明変数を算出し、重回帰分析を用いて被説明変数である加速度と進行方向の変化との関係を求める。

### 5-2 重回帰分析

重回帰分析の目的は主に2つあり、1つ目は影響の大きい要因を特定することである。要因分析とは、複数ある変数から被説明変数に関連する重要な変数を調べる手法であり、影響の大きい要因を明らかにすれば、改善の優先順位を決定しやすくなる。2つ目は、未来の値を予測することである。予測分析とは、要因分析をもとに重回帰式を求めて未来の値を予測する手法であり、重回帰式に値を入れると、予測分析の結果が得られる。また、重回帰分析を式で表すと式(5-1)のようになる。

$$y = C + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad \text{式(5-1)}$$

$y$ は被説明変数であり、 $x_1, x_2, \dots, x_n$ がそれぞれ1つの説明変数の値である。また、 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ はパラメータ、 $C$ は切片であり重回帰分析を行うことによって導出することができる。さらに本研究では、標準化した被説明変数と説明変数の値より重回帰分析を行い、結果より小学生の歩行行動に関して影響の大きい要因を検討することで通学路における小学生の行動特性を把握する。

### 5-3 重回帰分析の統計的検定

重回帰分析の結果として、次の6つが挙げられる。この重回帰分析の結果より小学生の歩行行動に関して影響の大きい要因を検討する。

#### (1) 標準偏回帰係数

-1から1の間の値をとり、0は影響が無い状態で、-1または1に近づくほど説明変数が被説明変数へ及ぼす影響は大きいといえる。

#### (2) 標準誤差

標準誤差は、推定量の標準偏差のことであり、推定量がどれくらいばらついているのかを表す指標である。ばらつきが小さい方が大きい場合よりも推定の精度が高いといえる。

### (3) P 値

P 値は個別の説明変数 1 つ 1 つが被説明変数に対して関係があるかどうかを表す指標であり「provability(確率)」の頭文字である。本研究では、P 値が 0.05 未満であれば、その説明変数は被説明変数に対して「関係性がある」という判断をする。一方、0.05 以上の場合は「関係がない」と捉えることができる。

### (4) t 値

t 値はそれぞれの説明変数が被説明変数に与える影響の大きさを表す指標である。t 値の絶対値が大きければ大きいほど、被説明変数に与える影響が強いことを意味している。本研究では、t 値の絶対値が 2 より小さい場合は、統計的にその説明変数は被説明変数に影響を与えていないと判断する。

### (5) 決定係数 $R^2$

回帰分析の結果得られた回帰式が被説明変数の値変動をどの程度説明できているかを表す指標であり、0~1 の値を取る。決定係数が 1 に近ければ近いほど、データに対する当てはまりが良く、回帰式の精度が高いことを意味している。精度の悪い回帰式をその後の分析に用いるのを防ぐために用いられる

#### 5-4 重回帰分析の被説明変数および説明変数

本項では、重回帰分析の被説明変数および説明変数を示す。本研究は、Dorine らが提唱した重回帰分析を用いた歩行者行動モデルの被説明変数および説明変数に、小学生独自の説明変数を追加して被説明変数との関係を分析した。

##### 5-4-1 参考論文における被説明変数

Dorine らは、群集の中の歩行者の相互作用に注目し分析を行った。歩行者は衝突を回避するため速度、進行方向、あるいは双方の変化の大きさが普段の歩行より大きくなる可能性がある。ゆえに、周りの歩行者と対象歩行者の速度および進行方向の変化との関係を把握するため、Dorine らは対象歩行者 $p$ の速度の変化 $\delta v(t)$ 、速度の変化量 $|\delta v(t)|$ 、進行方向の変化 $\delta a(t)$ 、進行方向の変化量 $|\delta a(t)|$ の4つの変数を被説明変数とした。被説明変数のイメージ図を図5-1に示す。現在の時間を $t$ 、対象歩行者 $p$ の現在の位置座標を $(x_p(t), y_p(t))$ 、データの取得間隔を1秒とし、被説明変数を算出した。ここで、現在の速度を $v_p(t)$ とすると

$$v_p(t) = \frac{\sqrt{(x_p(t) - x_p(t-1))^2 + (y_p(t) - y_p(t-1))^2}}{1} \quad \text{式(5-2)}$$

となる。

##### (1) 速度の変化 $\delta v(t)$

速度の変化とは、加速度のことであり単位時間あたりの速度の変化率である。速度の変化 $\delta v(t)$ は式(5-3)で表される。以下、 $\delta v(t)$ の変数名を $\delta v$ とする。

$$\delta v(t) = \frac{v_p(t+1) - v_p(t)}{1} \quad \text{式(5-3)}$$

##### (2) 速度の変化量 $|\delta v(t)|$

速度の変化量とは、速度の変化の絶対値であり値が大きいほど速度の変化が大きい。速度の変化 $|\delta v(t)|$ は式(5-4)で表される。以下、 $|\delta v(t)|$ の変数名を $|\delta v|$ とする。

$$|\delta v(t)| = \left| \frac{v_p(t+1) - v_p(t)}{1} \right| \quad \text{式(5-4)}$$

(3) 進行方向の変化 $\delta a(t)$

進行方向の変化とは、単位時間あたりの進行方向の変化率であり、**図5-2**のように進行方向から右回りの $0\sim 180^\circ$ を正の値とし、進行方向から左回りの $0\sim 180^\circ$ を負の値とする。正の値が大きいほど右回りに大きく進路を変更し、負の値が大きいほど左回りに大きく進路を変更する。進行方向の変化 $\delta a(t)$ は**式(5-5)**で表される。以下、 $\delta a(t)$ の変数名を $\delta a$ とする。

$\delta a(t)$

$$= \frac{\text{atan2}(x_p(t) - x_p(t-1), y_p(t) - y_p(t-1)) - \text{atan2}(x_p(t+1) - x_p(t), y_p(t+1) - y_p(t))}{1}$$

式(5-5)

(4) 進行方向の変化量 $|\delta a(t)|$

進行方向の変化量とは、進行方向の変化の絶対値であり、値が大きいほど進行方向の度が大きく変化する。進行方向の変化量 $|\delta a(t)|$ は**式(5-6)**で表される。以下、 $|\delta a(t)|$ の変数名を $|\delta a|$ とする。

$|\delta a(t)|$

$$= \left| \frac{\text{atan2}(x_p(t) - x_p(t-1), y_p(t) - y_p(t-1)) - \text{atan2}(x_p(t+1) - x_p(t), y_p(t+1) - y_p(t))}{1} \right|$$

式(5-6)

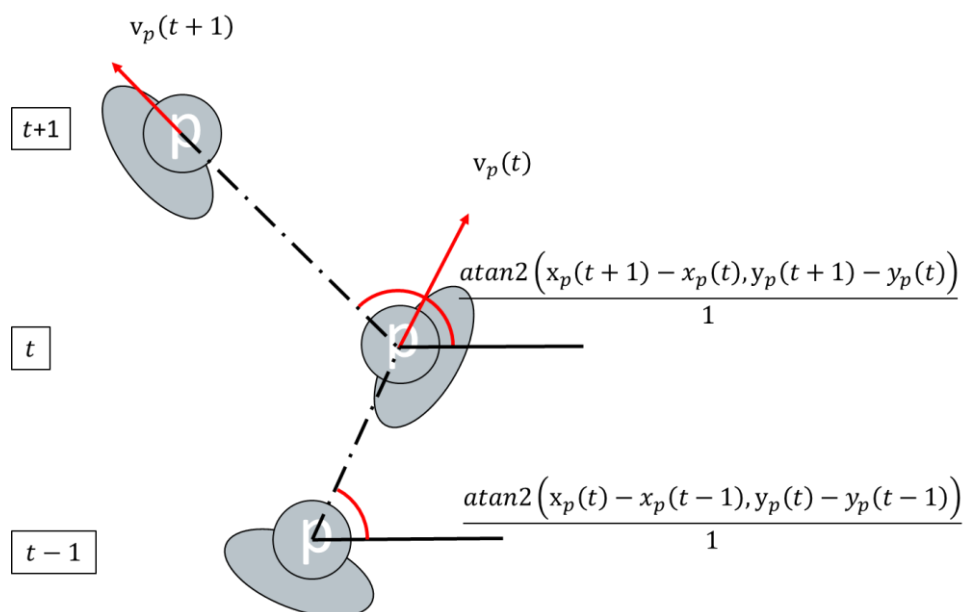


図 5-1 被説明変数のイメージ図



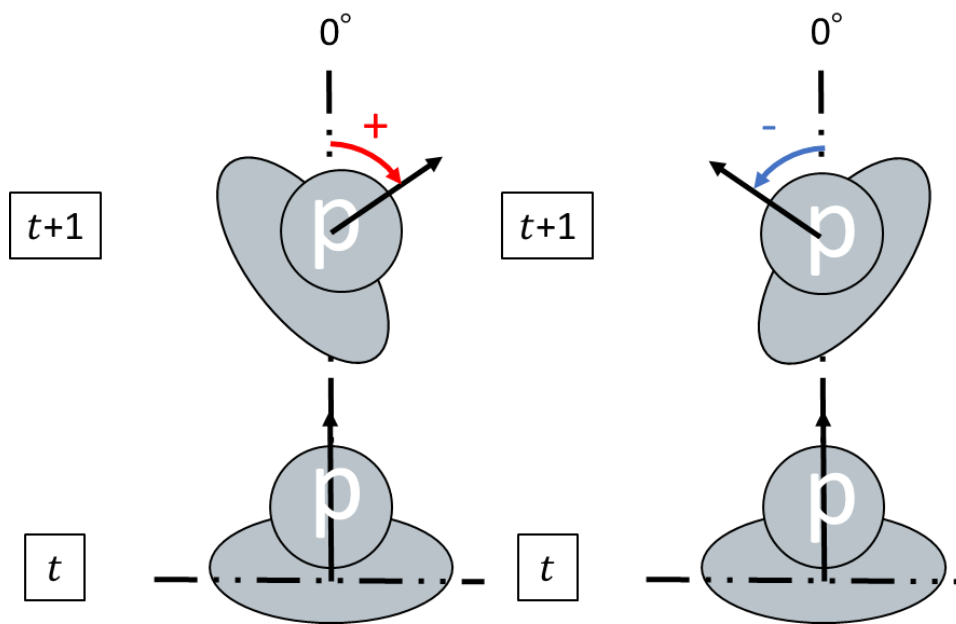


図 5-2 進行方向の定義

### 5-4-2 参考論文における説明変数

対象歩行者と近隣歩行者との関係について分析するため，対象歩行者pと近隣歩行者qの相互作用に関する7つの特性を説明変数とした．被説明変数と同様に現在の時間をt，対象歩行者pの現在の位置座標を $(x_p(t), y_p(t))$ ，データの取得間隔を1秒とし，さらに，近隣歩行者qの位置座標を $(x_q(t), y_q(t))$ とし説明変数を算出した．

#### (1) 対象歩行者pの速度 $v_p(t)$

対象歩行者pの速度 $v_p(t)$ は，現在の対象歩行者pの速度であり，式(5-2)と同様である．対象歩行者pの速度 $v_p(t)$ のイメージ図を図5-3に示す．また，本研究では速度 $v_p(t)$ の変数名を $v_p$ とする．

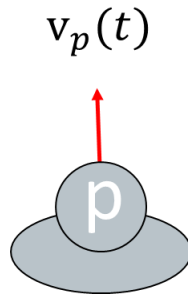


図 5-3 対象歩行者pの速度 $v_p(t)$ のイメージ図

#### (2) 空間的に最も近い近隣歩行者qとの距離 $h_{min}(t)$

空間的に最も近い近隣歩行者qとの距離 $h_{min}(t)$ は，対象歩行者pと距離が最も近い近隣歩行者qとの間の距離である．空間的に最も近い近隣歩行者qとの距離 $h_{min}(t)$ は，式(5-7)で表される．また，空間的に最も近い近隣歩行者qとの距離 $h_{min}(t)$ のイメージ図を図5-4に示す．

$$h_{min}(t) = \sqrt{(x_q(t) - x_p(t))^2 + (y_q(t) - y_p(t))^2} \quad \text{式(5-7)}$$

さらに， $h_{min}(t)$ は近隣歩行者qを選択する際の条件として，対象歩行者pの視野角を $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ によって分けており，視野外の近隣歩行者qは対象から除外する． $h_{min}(t)$ についてそれぞれの視野角によって分けた変数を $h_{min, \alpha=60, 90, 120, 150, 180, 360}$ のそれぞれ6パターンで示す．対象歩行者pの視野角 $\alpha$ について図5-5に示す． $\alpha = 60$ であれば図5-5内の $-30^\circ$ から $30^\circ$ の範囲内の近隣歩行者 $q_1$ のみが対象となる．ゆえに，図5-4において $h_{min, \alpha=60}$ は対象歩行者pと近隣歩行者 $q_1$ の間の距離である．また， $\alpha = 180$ であれば近隣歩行者 $q_1$ および $q_2$ が対象となる．ゆえに，図5-4において $h_{min, \alpha=180}$ は対象歩行者pと最も近い近隣歩行者 $q_2$ の間の距離になる．

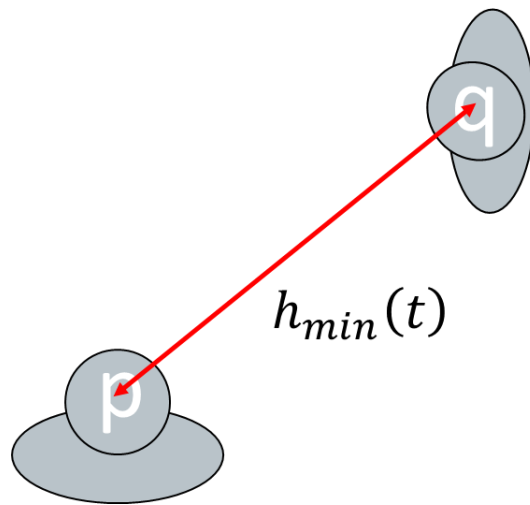


図 5-4 空間的に最も近い近隣歩行者qとの距離 $h_{min}(t)$ のイメージ図

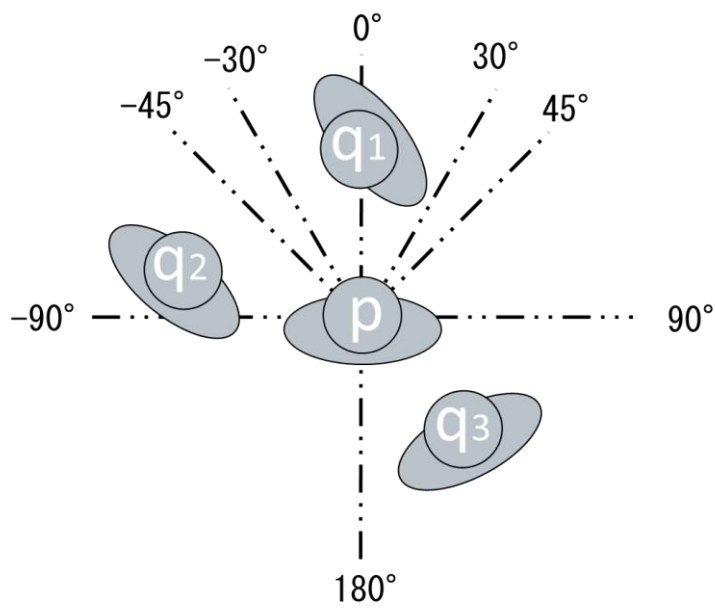


図 5-5 視野角 $\alpha$

(3) 時間的に最も近い近隣歩行者 $q$ との車頭時間 $t_{p,q}(t)$

車頭時間 $t_{p,q}(t)$ は、本来車両に用いられる指標であるが、本研究での車頭時間とは対象歩行者 $p$ と近隣歩行者 $q$ が進行方向に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が最も短い近隣歩行者 $q$ との時間差 $t_{p,q}(t)$ である。この値が大きければ、衝突するまでに十分な時間があり余裕をもって衝突を回避することができる。まず、対象歩行者 $p$ と近隣歩行者 $q$ が進行方向に直線的に進んだと仮定したときの交差の有無を判別するため、線分の交差判定を用いて交差の有無を計算する。対象歩行者 $p$ の進行方向への直線の式について傾きを $a$ 、切片を $b$ とすると、

$$a = \frac{y_p(t) - y_p(t-1)}{x_p(t) - x_p(t-1)} \quad \text{式(5-8)}$$

$$b = y_p(t) - a \times x_p(t) \quad \text{式(5-9)}$$

となる。同様に近隣歩行者 $q$ の位置座標を $(x_q(t), y_q(t))$ とし、近隣歩行者 $q$ の進行方向への直線の式について傾きを $c$ 、切片を $d$ とすると、

$$c = \frac{y_q(t) - y_q(t-1)}{x_q(t) - x_q(t-1)} \quad \text{式(5-10)}$$

$$d = y_q(t) - c \times x_q(t) \quad \text{式(5-11)}$$

本研究では、対象歩行者 $p$ と近隣歩行者 $q$ が進行方向に直線的に進んだと仮定するため、対象歩行者 $p$ の位置座標 $(x_p(t), y_p(t))$ と近隣歩行者 $q$ の位置座標 $(x_q(t), y_q(t))$ から進行方向へ半直線を引く。適当に大きい $x$ 座標の値を設定し、対象歩行者 $p$ と近隣歩行者 $q$ の進行方向の直線の式より $y$ 座標を算出することで、直線上にある極大な座標を終点とし半直線として扱う。本研究の終点の $x$ 座標は10000であり、分析対象である通学路の大きさから十分な長さの半直線が描くことができる。対象歩行者 $p$ に対する半直線の終点の座標 $(X_p(t), Y_p(t))$ は、

$$(X_p(t), Y_p(t)) = \begin{cases} (10000, a \times 10000 + b) & x_p(t) - x_p(t-1) > 0 \quad \text{かつ} \quad y_p(t) - y_p(t-1) > 0 \\ (10000, a \times 10000 + b) & x_p(t) - x_p(t-1) > 0 \quad \text{かつ} \quad y_p(t) - y_p(t-1) < 0 \\ (-10000, a \times 10000 + b) & x_p(t) - x_p(t-1) < 0 \quad \text{かつ} \quad y_p(t) - y_p(t-1) > 0 \\ (-10000, a \times 10000 + b) & x_p(t) - x_p(t-1) < 0 \quad \text{かつ} \quad y_p(t) - y_p(t-1) < 0 \end{cases} \quad \text{式(5-12)}$$

さらに、近隣歩行者 $q$ に対する半直線の終点の座標 $(X_q(t), Y_q(t))$ も同様に、

$$\begin{aligned}
& (X_q(t), Y_q(t)) \\
& = \begin{cases} (10000, c \times 10000 + d) & x_q(t) - x_q(t-1) > 0 \quad \text{かつ} \quad y_q(t) - y_q(t-1) > 0 \\ (10000, c \times 10000 + d) & x_q(t) - x_q(t-1) > 0 \quad \text{かつ} \quad y_q(t) - y_q(t-1) < 0 \\ (-10000, c \times 10000 + d) & x_q(t) - x_q(t-1) < 0 \quad \text{かつ} \quad y_q(t) - y_q(t-1) > 0 \\ (-10000, c \times 10000 + d) & x_q(t) - x_q(t-1) < 0 \quad \text{かつ} \quad y_q(t) - y_q(t-1) < 0 \end{cases} \\
& \hspace{20em} \text{式(5-13)}
\end{aligned}$$

となる. すると,

$$t_1 = (x_p(t) - X_p(t)) \times (y_q(t) - y_p(t)) + (y_p(t) - Y_p(t)) \times (x_p(t) - x_q(t)) \quad \text{式(5-14)}$$

$$t_2 = (x_p(t) - X_p(t)) \times (Y_q(t) - y_p(t)) + (y_p(t) - Y_p(t)) \times (x_p(t) - X_q(t)) \quad \text{式(5-15)}$$

$$t_3 = (x_q(t) - X_q(t)) \times (y_p(t) - y_q(t)) + (y_q(t) - Y_q(t)) \times (x_q(t) - x_p(t)) \quad \text{式(5-16)}$$

$$t_4 = (x_q(t) - X_q(t)) \times (Y_p(t) - y_q(t)) + (y_q(t) - Y_q(t)) \times (x_q(t) - X_p(t)) \quad \text{式(5-17)}$$

となり,  $t_1 \times t_2 < 0$  かつ  $t_3 \times t_4 < 0$  であれば, 対象歩行者pと近隣歩行者qは進行方向に直線的に進んだと仮定したときに交差するといえる. このとき, 対象歩行者pと近隣歩行者qの交差位置 $(x_{collision}(t), y_{collision}(t))$ は,

$$(x_{collision}(t), y_{collision}(t)) = \left( \left( \frac{d-b}{a-c} \right), \left( \frac{a \times d - b \times c}{a-c} \right) \right) \quad \text{式(5-18)}$$

となるので, 対象歩行者pが速度 $v_p(t)$ で交差位置 $(x_{collision}(t), y_{collision}(t))$ に到達するまでの時間 $t_p$ は,

$$t_p = \frac{\sqrt{(x_p(t) - x_{collision}(t))^2 + (y_p(t) - y_{collision}(t))^2}}{v_p(t)} \quad \text{式(5-19)}$$

であり、近隣歩行者qが速度 $v_q(t)$ で交差位置 $(x_{collision}(t), y_{collision}(t))$ に到達するまでの時間 $t_q$ も同様に、

$$t_q = \frac{\sqrt{(x_q(t) - x_{collision}(t))^2 + (y_q(t) - y_{collision}(t))^2}}{v_q(t)} \quad \text{式(5-20)}$$

となるので、車頭時間 $t_{p,q}(t)$ は式(5-21)で表される。また、時間的に最も近い近隣歩行者qとの車頭時間 $t_{p,q}(t)$ のイメージ図を図5-6に示す。

$$t_{p,q}(t) = |t_p - t_q| \quad \text{式(5-21)}$$

さらに、 $t_{p,q}(t)$ も近隣歩行者qを選択する際の条件として、対象歩行者pの視野角を $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ によって分けており、視野外の近隣歩行者qは対象から除外する。 $t_{p,q}(t)$ についてそれぞれの視野角によって分けた変数を $t_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360}$ のそれぞれ6パターンで示す。

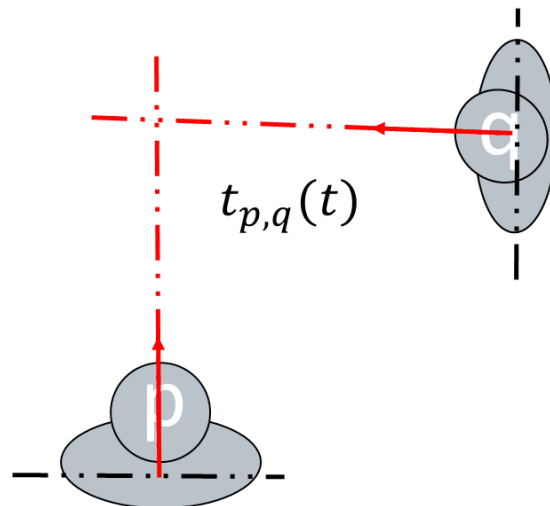


図 5-6 時間的に最も近い近隣歩行者qとの車頭時間 $t_{p,q}(t)$ のイメージ図

(4) 対象歩行者pと近隣歩行者qの交差角 $I_{p,q}(t)$

対象歩行者pと近隣歩行者qの交差角 $I_{p,q}(t)$ は、対象歩行者pの位置から進行方向に伸ばした直線と近隣歩行者qの位置から進行方向に伸ばした直線とのなす角である。交差角 $I_{p,q}(t)$ は最大 $180^\circ$ であり $180^\circ$ に近いほど対象歩行者pと近隣歩行者qは互いに真向いから向かってきているということになる。まず、対象歩行者pと近隣歩行者qが進行方向に直線的に進んだと仮定したときの交差の有無を判別するため、車頭時間 $t_{p,q}(t)$ と同様に線分の交差判定を用いて交差の有無を計算する。その後、線分の交差判定において $t_1 \times t_2 < 0$ かつ $t_3 \times t_4 < 0$ であれば、対象歩行者pと近隣歩行者qは進行方向に直線的に進んだと仮定したときに交差し、このとき、対象歩行者pと近隣歩行者qの交差角 $I_{p,q}(t)$ は、(3)車頭時間 $t_{p,q}(t)$ の対象歩行者pと近隣歩行者qの交差位置 $(x_{collision}(t), y_{collision}(t))$ を用いて式(5-22)で表される。また、対象歩行者pと近隣歩行者qの交差角 $I_{p,q}(t)$ のイメージ図を図5-7に示す。

$$I_{p,q}(t) = \text{atan2}\left(\left(x_{collision}(t) - x_p(t)\right), \left(y_{collision}(t) - y_p(t)\right)\right) - \text{atan2}\left(\left(x_{collision}(t) - x_q(t)\right), \left(y_{collision}(t) - y_q(t)\right)\right) \quad \text{式(5-22)}$$

さらに、 $I_{p,q}(t)$ も近隣歩行者qを選択する際の条件として、対象歩行者pの視野角を $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ によって分けており、視野外の近隣歩行者qは対象から除外する。そのうえ、近隣歩行者qに関して空間的に最も近い歩行者と時間的に最も近い歩行者に分けており、それぞれ視野角と合わせて $I_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - h_{min}$ および $I_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - t_{p,q}$ のそれぞれ6パターンずつで示す。

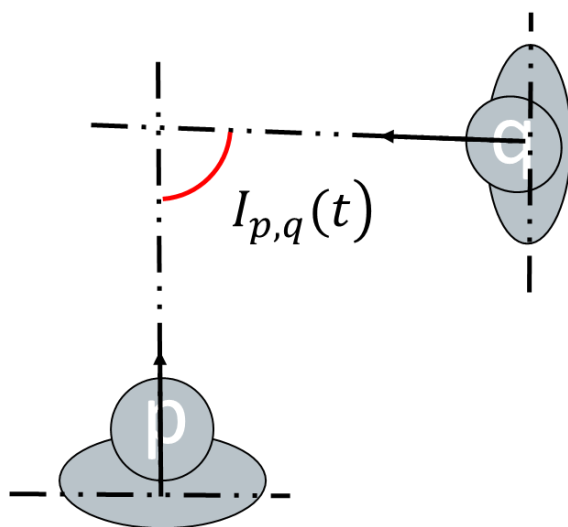


図 5-7 対象歩行者pと近隣歩行者qの交差角 $I_{p,q}(t)$ のイメージ図

(5) 近隣歩行者qに対しての対象歩行者pの角度 $S_{p,q}(t)$

近隣歩行者qに対しての対象歩行者pの角度 $S_{p,q}(t)$ は、近隣歩行者qの進行方向を  $0^\circ$  としたときの近隣歩行者qから見た対象歩行者pの位置までの角度である。隣歩行者qに対しての対象歩行者pの角度 $S_{p,q}(t)$ は、式(5-23)で表される。また、近隣歩行者qに対しての対象歩行者pの角度 $S_{p,q}(t)$ のイメージ図を図5-8に示す。

$$S_{p,q}(t) = \text{atan2}\left(\left(x_q(t) - x_q(t-1)\right), \left(y_q(t) - y_q(t-1)\right)\right) - \text{atan2}\left(\left(x_p(t) - x_q(t)\right), \left(y_p(t) - y_q(t)\right)\right) \quad \text{式(5-23)}$$

さらに、 $S_{p,q}(t)$ も近隣歩行者qを選択する際の条件として、対象歩行者pの視野角を  $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, 360^\circ$  によって分けており、視野外の近隣歩行者qは対象から除外する。そのうえ、近隣歩行者qに関して空間的に最も近い歩行者と時間的に最も近い歩行者に分けており、それぞれ視野角と合わせて  $S_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - h_{min}$  および  $S_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - t_{p,q}$  のそれぞれ6パターンずつで示す。

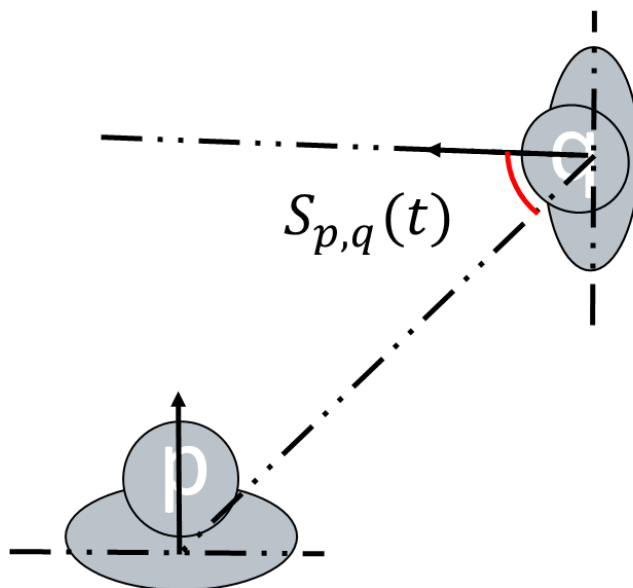


図 5-8 近隣歩行者qに対しての対象歩行者pの角度 $S_{p,q}(t)$ のイメージ図



(6) 対象歩行者 $p$ の位置を中心とした半径 $R$ 内にいる人の人数 $N_R$

対象歩行者 $p$ の位置を中心とした半径 $R_m$ 内にいる人の人数 $N_R$ のイメージ図を図5-9に示す。また、半径 $R$ について、 $R = 0.5m, 1m, 1.5m, 2m, 3m, 5m$ で分けており、 $N_{R=0.5m, 1m, 1.5m, 2m, 3m, 5m}$ のそれぞれ6パターンで示す。

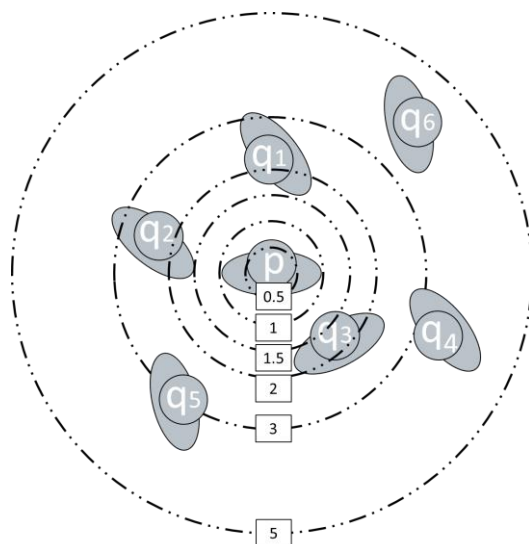


図 5-9 対象歩行者 $p$ の位置を中心とした半径 $R_m$ 内にいる人の人数 $N_R$ のイメージ図

(7) 対象歩行者 $p$ の視野角 $\alpha$ 内にいる人の人数 $N_\alpha$

対象歩行者 $p$ の視野角 $\alpha$ 内にいる人の人数 $N_\alpha$ のイメージ図を図5-10に示す。また、視野角 $\alpha$ について $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ で分けており、 $N_{\alpha=60, 90, 120, 150, 180, 360}$ のそれぞれ6パターンで示す。

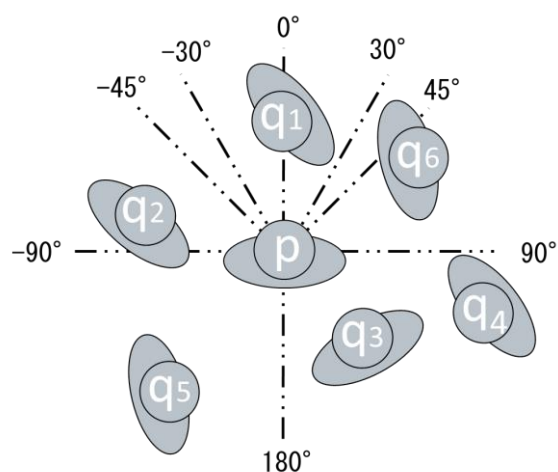


図 5-10 対象歩行者 $p$ の視野角 $\alpha$ 内にいる人の人数 $N_\alpha$ のイメージ図

### 5-4-3 小学生独自の説明変数

本節では、小学生の行動特性を把握するために、参考論文の説明変数に小学生独自の説明変数を加える。吉城ら<sup>2)</sup>の研究より、小学生の通学路での行動は一緒に帰っているグループや登校下校などの時間帯が関係していることが分かった。そこで本研究では、次の4つの変数を説明変数として追加する。

#### (1) 車両の有無

車両の有無とは、データ取得時間 $t$ において動画に車両が映っているか否かを示したダミー変数であり、車両が映っていないと0であり映っていると1である。車両が動画に写っているか否かは人と同じく物体追跡ライブラリであるYOLOv5+DeepSortを用いて車両を検知した。車両を検知した結果を図5-11に示す。これにより、周りに車両が存在する場合の小学生の行動と存在しない場合の小学生の行動を比較することができる。



図 5-11 車両を物体検知した結果

## (2) 車両との距離

車両との距離とは、対象歩行者 $p$ と近隣の車両との距離である。車両の走行位置の取得は車両の有無と同じく物体追跡ライブラリであるYOLOv5+DeepSortを用いる。また、車両の位置座標は、車両のバウンディングボックスの中心であり、車両の位置座標を $(x_{vehicle}(t), y_{vehicle}(t))$ とすると対象歩行者 $p$ と近隣の車両との距離は式(5-22)で表される。これにより、車両との距離と小学生の行動との関係を明らかにすることができる。

$$\text{車両との距離} = \sqrt{(x_{vehicle}(t) - x_p(t))^2 + (y_{vehicle}(t) - y_p(t))^2} \quad \text{式(5-22)}$$

## (3) 歩行場所

歩行場所とは、図5-12～図5-14のように小学生が歩行している場所を歩道、車道、路肩の3つに分割し、その範囲に存在していなければ0存在していれば1の値をとるダミー変数である。これにより、歩道、車道、路肩を歩行している小学生の行動を比較することができる。

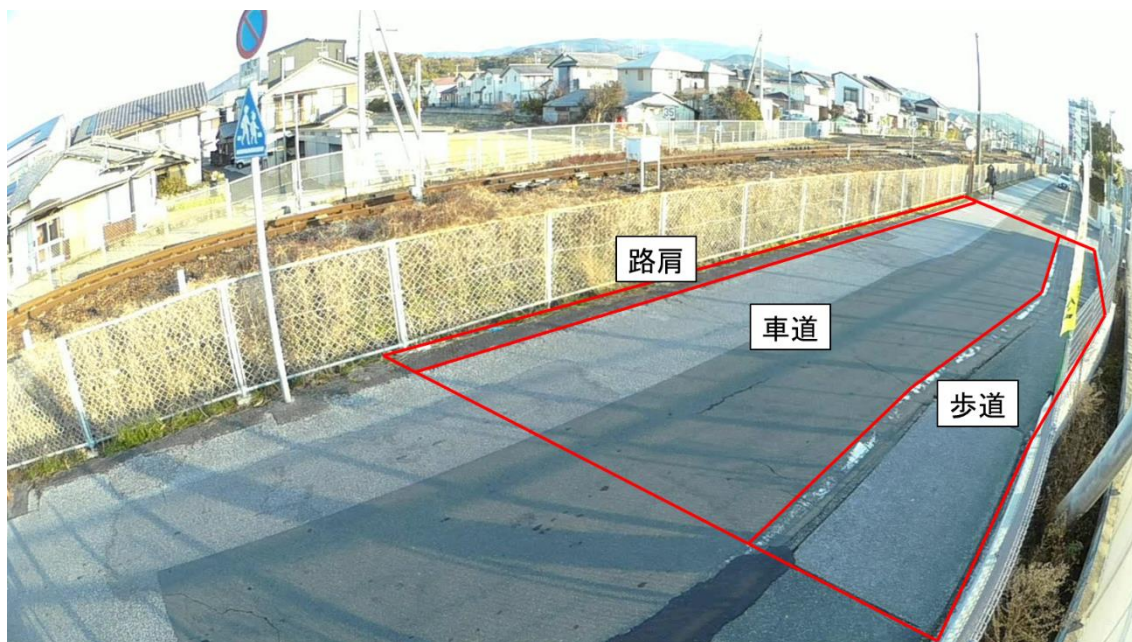


図 5-12 画角①における道路の区別

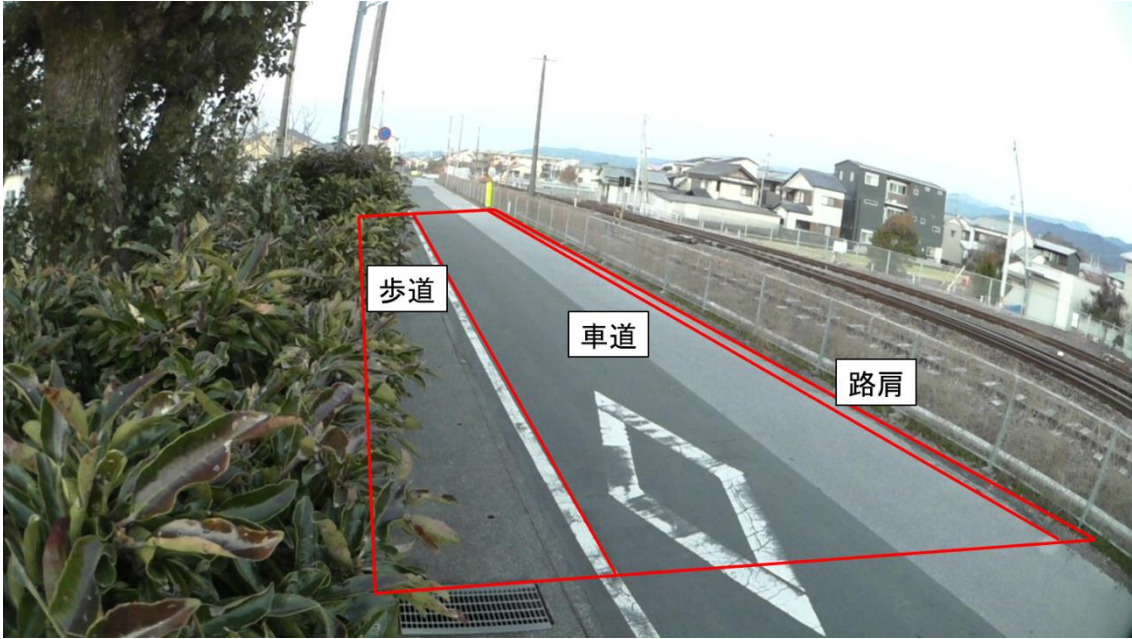


図 5-1 3 画角③における道路の区別

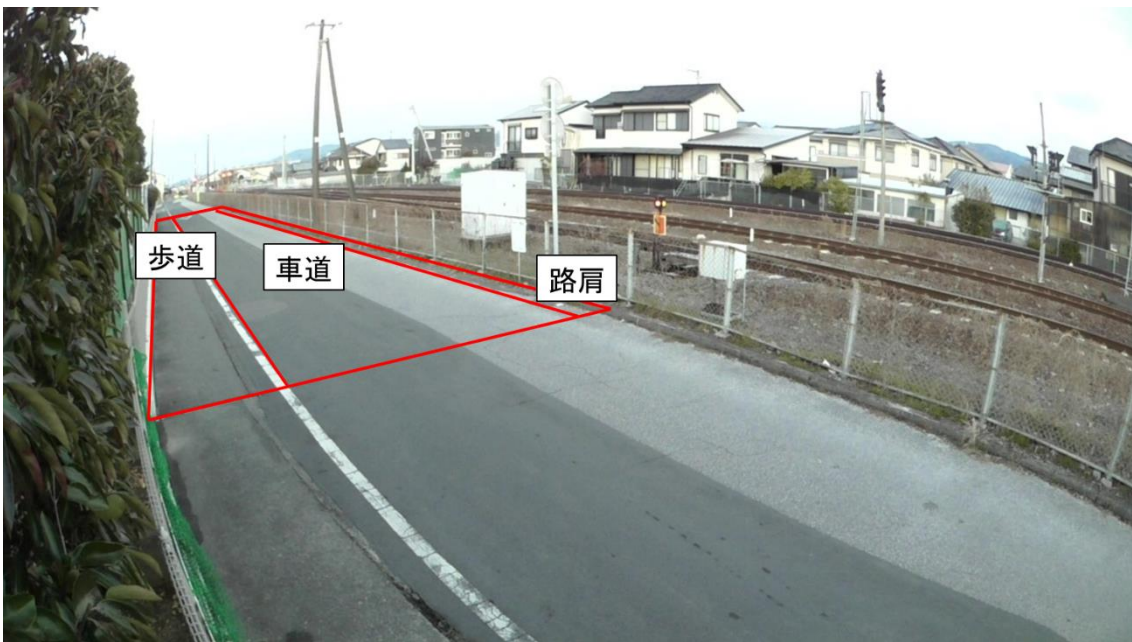


図 5-1 4 画角④における道路の区別

(4) 時間帯, 隊列, グループ人数

時間帯, 隊列, グループ人数とは, 時間帯 (登校, 下校) と隊列 (直列, 並列) とグループ人数 (ひとり, 2人, 3人以上) の組み合わせを1つのダミー変数にしたものであり, 登校\_直列\_ひとり, 登校\_直列\_2人, 登校\_直列\_3人以上, 登校\_並列\_2人, 登校\_並列\_3人以上, 下校\_直列\_ひとり, 下校\_直列\_2人, 下校\_直列\_3人以上, 下校\_並列\_2人, 下校\_並列\_3人以上の10通りであり, 当てはまらなければ0当てはまれば1とした. 隊列について, 図5-15のようにグループが形成する長方形の縦の長さが大きければ直列, 横の長さが大きければ並列とした.

また, グループについて, 図5-16のような時間帯と隊列をグループ人数ごとに分けたヒストグラムを作成しデータ数の偏りがないようにひとり, 2人, 3人以上のグループに分けた. これにより, 時間帯と隊列とグループ人数による小学生の行動への影響を分析することができる.

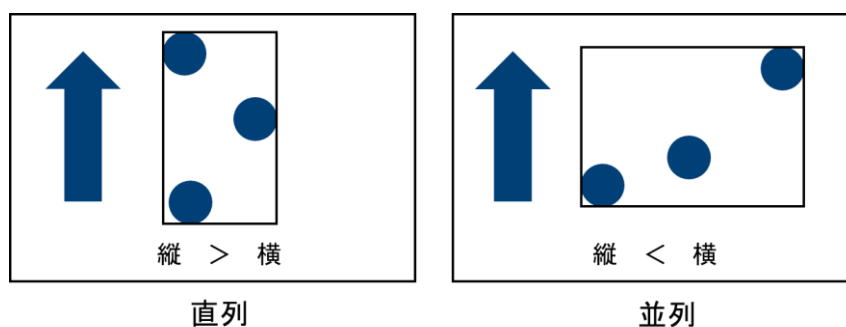


図 5-16 隊列の定義

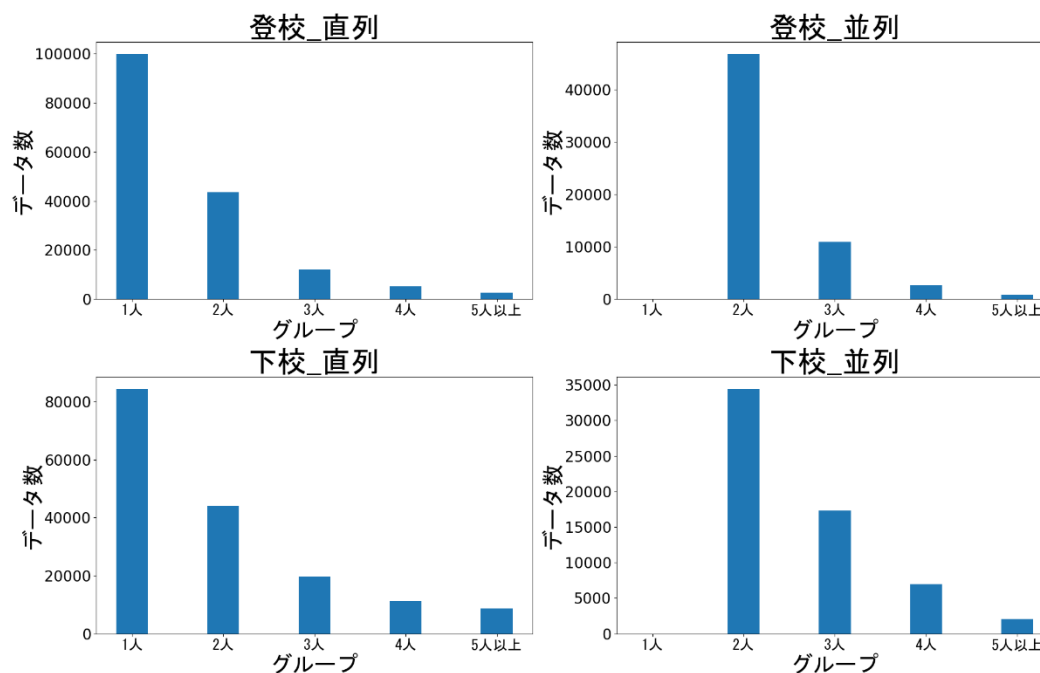


図 5-15 グループ人数ごとにみたデータ数のヒストグラム

#### 5-4-4 説明変数の選択方法

全ての説明変数を使うのは情報量が多く、かえって分析を難しくしてしまうため、Dorineらは決定係数を基に説明変数を選択する方法を示している。また、本研究もDorineらの方法にのっとり説明変数の選択を行った。

ここで前提として同じ変数で視野角が異なるものは一度しか選択しないものとする。加えて、本研究では小学生独自の説明変数と小学生の行動との関係を分析するため、小学生独自の説明変数は必須で選択する。さらに、車両との距離は車両が存在する場合しか計算できないため車両の有無とは分けて考え2パターン分析する。以下、車両の有無を含む説明変数の組を説明変数(1)、車両との距離を含む説明変数の組を説明変数(2)とする。

説明変数を選択する方法を以下に示す。また、図5-17にフローを示す。

- ① 全ての説明変数について回帰分析し説明変数の中から決定係数が最も高い説明変数一つ選ぶ。
- ② ①で選んだ説明変数以外の説明変数の中で①で選んだ説明変数と組み合わせて最も決定係数が高い説明変数を選ぶ。
- ③ 組み合わせる前より決定係数が高ければ、②と同様に選んだ説明変数以外の説明変数から決定係数が最も高くなる組み合わせを選び、組み合わせる前より決定係数が低ければ、現在選んでいる説明変数が最良の組み合わせとなり選択を終了する。
- ④ 残りの説明変数がなくなるか、選択が終了するまで②③を繰り返す。

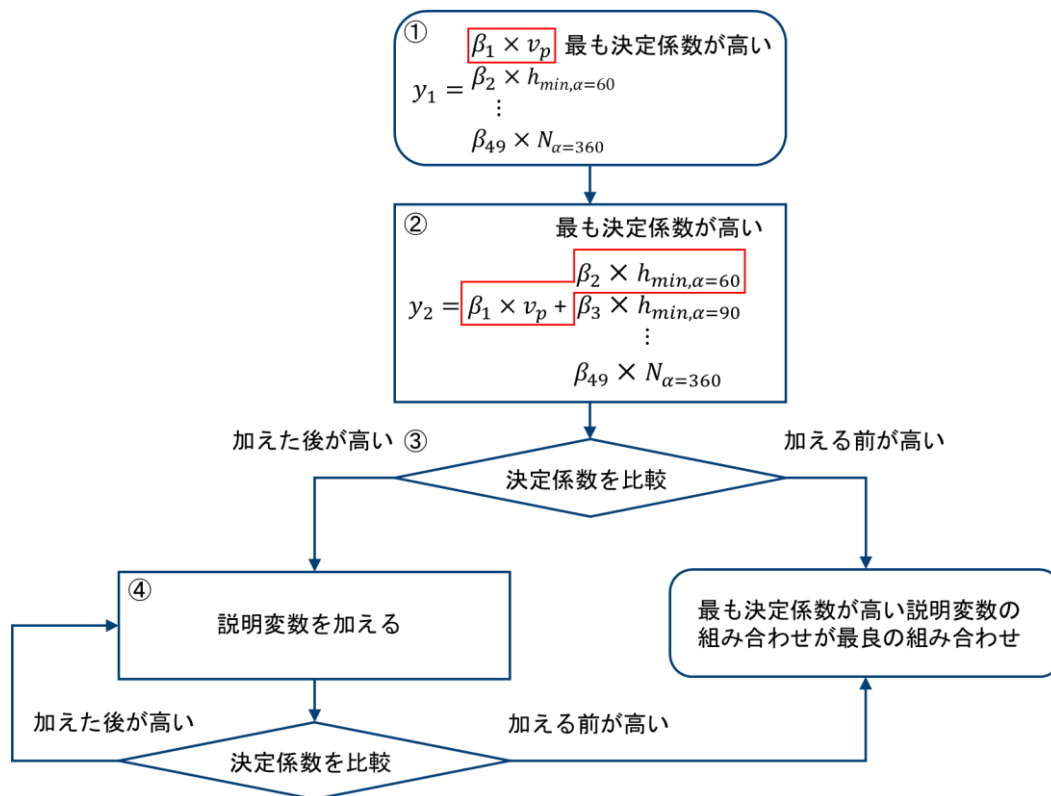


図 5-17 説明変数の選択方法

### 5-5 重回帰分析の分析結果

本項では、表5-1および表5-2に被説明変数と説明変数の一覧を示し、説明変数の中から最良の説明変数の組み合わせを選択し重回帰分析を行った。

表 5-1 被説明変数と説明変数の一覧（その1）

	変数名	説明
被説明変数	$\delta v$	対象歩行者pの単位時間あたりの速度の変化
	$ \delta v $	対象歩行者pの単位時間あたりの速度の変化の絶対値
	$\delta a$	対象歩行者pの単位時間あたりの進行方向の変化
	$ \delta a $	対象歩行者pの単位時間あたりの進行方向の変化の絶対値
説明変数	$v_p$	対象歩行者pの速度
	$h_{min,\alpha=60,90,120,150,180,360}$	対象歩行者pの視野角 $\alpha$ 内における対象歩行者pと距離が最も近い近隣歩行者qとの間の距離
	$I_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - h_{min}$	対象歩行者pの視野角 $\alpha$ 内における対象歩行者pの位置から進行方向に伸ばした直線と空間的に最も近い近隣歩行者qの位置から進行方向に伸ばした直線とのなす角
	$S_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - h_{min}$	対象歩行者pの視野角 $\alpha$ 内における空間的に最も近い近隣歩行者qの進行方向を $0^\circ$ としたときの近隣歩行者qから見た対象歩行者pの位置までの角度
	$t_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360}$	対象歩行者pの視野角 $\alpha$ 内における対象歩行者pと近隣歩行者qが進行方向に直線的に進んだときに衝突する位置に到達するまでの時間差が最も短い近隣歩行者qとの時間差
	$I_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - t_{p,q}$	対象歩行者pの視野角 $\alpha$ 内における対象歩行者pの位置から進行方向に伸ばした直線と時間的に最も近い近隣歩行者qの位置から進行方向に伸ばした直線とのなす角
	$S_{p,q,\alpha=60,90,120,150,180,360} - t_{p,q}$	対象歩行者pの視野角 $\alpha$ 内における時間的に最も近い近隣歩行者qの進行方向を $0^\circ$ としたときの近隣歩行者qから見た対象歩行者pの位置までの角度
	$N_{R=0.5m,1m,1.5m,2m,3m,5m}$	対象歩行者pの位置を中心とした半径 Rm 内にいる人の人数
	$N_{\alpha=60,90,120,150,180,360}$	対象歩行者pの視野角 $\alpha$ 内にいる人の人数
	車両の有無	動画に車両が映っているか否かのダミー変数
	車両との距離	対象歩行者pと近隣の車両との距離
	歩道	歩道を歩いているか否かのダミー変数

表 5-2 被説明変数と説明変数の一覧（その2）

	変数名	説明
説 明 変 数	車道	車道を歩いているか否かのダミー変数
	路肩	路肩を歩いているか否かのダミー変数
	登校_直列_ひとり	対象歩行者pが登校時間帯にひとりで登校しているか否かのダミー変数
	登校_直列_2人	対象歩行者pが登校時間帯に2人グループに属し直列で登校しているか否かのダミー変数
	登校_直列_3人以上	対象歩行者pが登校時間帯に3人以上のグループに属し直列で登校しているか否かのダミー変数
	登校_並列_2人	対象歩行者pが登校時間帯に2人グループに属し並列で登校しているか否かのダミー変数
	登校_並列_3人以上	対象歩行者pが登校時間帯に3人以上のグループに属し並列で登校しているか否かのダミー変数
	下校_直列_ひとり	対象歩行者pが下校時間帯にひとりで下校しているか否かのダミー変数
	下校_直列_2人	対象歩行者pが下校時間帯に2人グループに属し直列で下校しているか否かのダミー変数
	下校_直列_3人以上	対象歩行者pが下校時間帯に3人以上のグループに属し直列で下校しているか否かのダミー変数
	下校_並列_2人	対象歩行者pが下校時間帯に2人グループに属し並列で下校しているか否かのダミー変数
	下校_並列_3人以上	対象歩行者pが下校時間帯に3人以上のグループに属し並列で下校しているか否かのダミー変数



### 5-5-1 説明変数（1）を用いた速度の変化 $\delta v$ の重回帰分析結果

説明変数（1）を用いて速度の変化 $\delta v$ について重回帰分析を行った結果を表5-3に示す。表5-3より、速度の変化 $\delta v$ について、 $v_p$ の標準偏回帰係数が-0.5099と最も影響が大きく、速度の変化は $v_p$ に強く依存していることが分かる。次いで、 $N_{\alpha=150}$ および $N_{R=1.5m}$ が有意となっており近隣の歩行者の数も速度の変化に影響していることが分かった。通常、周りに人が多いと加速度は低くなる。しかし、 $N_{\alpha=150}$ は正の値になっており小学生特有の遊び行動が影響しているのではないかと考える。また、速度の変化 $\delta v$ と車両の有無には関係がない可能性が高いことが分かった。そして、その他の中学生独自の説明変数は下校\_直列\_2人以外有意であり、標準偏回帰係数はすべて正の値であった。

表 5-3 説明変数（1）を用いた速度の変化 $\delta v$ の重回帰分析結果

変数名	標準偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
$v_p$	-0.5099	0.0070	-72.8777	0
$N_{\alpha=150}$	0.0634	0.0073	8.6994	$3.6519 \times 10^{-18}^{**}$
$N_{R=1.5m}$	-0.0678	0.0096	-7.0702	$1.6101 \times 10^{-12}^{**}$
$l_{p,q,\alpha=360} - h_{min}$	-0.0302	0.0237	-1.2773	0.2015
$h_{min,\alpha=360}$	0.0538	0.0100	5.4083	$6.4520 \times 10^{-8}^{**}$
$t_{p,q,\alpha=360}$	-0.0128	0.0068	-1.8874	0.0591
$l_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$	0.0297	0.0236	1.2606	0.2075
車両の有無	-0.0078	0.0068	-1.1419	0.2535
歩道	-0.0168	0.0037	-4.4981	$6.9028 \times 10^{-6}^{**}$
車道	0.0142	0.0046	3.0734	0.0021 <sup>**</sup>
路肩	0.0086	0.0062	1.3813	0.1672
登校_直列_ひとり	0.1063	0.0227	4.6889	$2.7693 \times 10^{-6}^{**}$
登校_直列_2人	0.0632	0.0174	3.6393	0.0003 <sup>**</sup>
登校_直列_3人以上	0.0580	0.0141	4.1244	$3.7359 \times 10^{-5}^{**}$
登校_並列_2人	0.1440	0.0259	5.5481	$2.9327 \times 10^{-8}^{**}$
登校_並列_3人以上	0.0424	0.0131	3.2412	0.0012 <sup>**</sup>
下校_直列_ひとり	0.0849	0.0163	5.2135	$1.8760 \times 10^{-7}^{**}$
下校_直列_2人	0.0269	0.0147	1.8321	0.0670
下校_直列_3人以上	0.0801	0.0143	5.5852	$2.3719 \times 10^{-8}^{**}$
下校_並列_2人	0.0664	0.0196	3.3910	0.0007 <sup>**</sup>
下校_並列_3人以上	0.0588	0.0165	3.5668	0.0004 <sup>**</sup>
決定係数	0.2591			
データ数	16178			

\*P 値<0.05, \*\*P 値<0.01

### 5-5-2 説明変数(1)を用いた速度の変化量 $|\delta v|$ の重回帰分析結果

説明変数(1)を用いて速度の変化量 $|\delta v|$ について重回帰分析を行った結果を表5-4に示す。表5-4より、速度の変化量 $|\delta v|$ について、速度の変化 $\delta v$ と同じく $v_p$ の標準偏回帰係数が0.3613と最も影響が大きく、速度の変化量は $v_p$ に強く依存していることが分かる。次いで、 $N_{\alpha=60}$ および $N_{R=1m}$ が有意となっており近隣の歩行者の数も速度の変化量に影響していることが分かった。また、速度の変化と同じく $h_{min,\alpha=360}$ も有意となっており最も近い歩行者との距離も速度の変化量に影響することが明らかになった。加えて、小学生独自の説明変数について下校\_直列\_2人と下校\_直列\_3人以上の標準偏回帰係数のみが正の値となっており、その2つの状況において速度の変化量が大きくなる可能性があることを示唆できた。

表 5-4 説明変数(1)を用いた速度の変化量 $|\delta v|$ の重回帰分析結果

変数名	標準偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
$v_p$	0.3613	0.0040	90.0441	0**
$h_{min,\alpha=360}$	-0.0219	0.0053	-4.1156	$3.8667 \times 10^{-5**}$
$N_{\alpha=60}$	-0.0705	0.0046	-15.4781	$6.3439 \times 10^{-54**}$
$N_{R=1m}$	-0.0679	0.0054	-12.6615	$1.0880 \times 10^{-36**}$
車両の有無	-0.0039	0.0039	-0.9943	0.3201
歩道	-0.1694	0.2305	-0.7348	0.4624
車道	-0.1728	0.1986	-0.8703	0.3842
路肩	-0.1118	0.1235	-0.9054	0.3652
登校_直列_ひとり	-0.1081	0.0129	-8.4086	$4.2480 \times 10^{-17**}$
登校_直列_2人	-0.0215	0.0091	-2.3646	0.0181
登校_直列_3人以上	-0.0306	0.0074	-4.1550	$3.2578 \times 10^{-5**}$
登校_並列_2人	-0.1440	0.0138	-10.4163	$2.2073 \times 10^{-25**}$
登校_並列_3人以上	-0.0503	0.0077	-6.5489	$5.8475 \times 10^{-11**}$
下校_直列_ひとり	-0.0152	0.0093	-1.6377	0.1015
下校_直列_2人	0.0220	0.0083	2.6403	0.0083**
下校_直列_3人以上	0.0500	0.0079	6.3634	$1.9883 \times 10^{-10**}$
下校_並列_2人	-0.0916	0.0111	-8.2293	$1.9234 \times 10^{-16**}$
下校_並列_3人以上	-0.0459	0.0088	-5.2035	$1.9628 \times 10^{-7**}$
決定係数	0.1630			
データ数	54879			

\*P 値<0.05, \*\*P 値<0.01

### 5-5-3 説明変数（1）を用いた進行方向の変化 $\delta a$ の重回帰分析結果

説明変数（1）を用いて進行方向の変化 $\delta a$ について重回帰分析を行った結果を表5-5に示す。表5-5より、進行方向の変化 $\delta a$ について、速度や速度の変化量と異なり $I_{p,q,\alpha=90} - h_{min}$ や $S_{p,q,\alpha=180} - t_{p,q}$ などの近隣歩行者との角度に関する変数が影響することが明らかとなった。一方、 $N_{\alpha=60}$ や $N_{R=3m}$ は速度の変化、速度の変化量と同様に有意となっており近隣の歩行者の数は進行方向の変化にも影響していることが分かった。また、小学生独自の説明変数について登校\_並列\_3人以上と下校\_並列\_3人以上のみが有意であることが明らかになり並列で3人以上のグループが進行方向の変化と関係があることが明確になった。

表 5-5 説明変数（1）を用いた進行方向の変化  $\delta a$  の重回帰分析結果

変数名	標準偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
$I_{p,q,\alpha=90} - h_{min}$	0.0939	0.0357	2.6287	0.0086**
$N_{R=3m}$	-0.1008	0.0167	-6.0204	$1.8383 \times 10^{-9}$ **
$S_{p,q,\alpha=180} - t_{p,q}$	0.0485	0.0130	3.7217	0.0002**
$N_{\alpha=60}$	0.0451	0.0135	3.3382	0.0008**
$h_{min,\alpha=360}$	-0.0335	0.0175	-1.9149	0.0556
$I_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$	-0.0650	0.0358	-1.8145	0.0697
車両の有無	-0.0305	0.0127	-2.4049	0.0162*
歩道	0.0007	0.0072	0.1014	0.9192
車道	0.0198	0.0084	2.3390	0.0194*
路肩	-0.0357	0.0118	-3.0332	0.0024**
登校_直列_ひとり	-0.0756	0.0721	-1.0493	0.2941
登校_直列_2人	-0.0310	0.0500	-0.6185	0.5363
登校_直列_3人以上	-0.0383	0.0457	-0.8373	0.4024
登校_並列_2人	-0.0352	0.0429	-0.8207	0.4119
登校_並列_3人以上	-0.0557	0.0206	-2.7075	0.0068**
下校_直列_ひとり	-0.0418	0.0450	-0.9272	0.3539
下校_直列_2人	0.0094	0.0428	0.2186	0.8270
下校_直列_3人以上	0.0138	0.0423	0.3250	0.7452
下校_並列_2人	-0.0129	0.0282	-0.4567	0.6479
下校_並列_3人以上	-0.0893	0.0329	-2.7175	0.0066**
決定係数	0.0244			
データ数	6298			

\*P 値<0.05, \*\*P 値<0.01

#### 5-5-4 説明変数(1)を用いた進行方向の変化量 $|\delta a(t)|$ の重回帰分析結果

説明変数(1)を用いて進行方向の変化量 $|\delta a|$ について重回帰分析を行った結果を表5-6に示す。表5-6より、進行方向の変化量 $|\delta a|$ について、進行方向の変化と同じく $I_{p,q,\alpha=90} - h_{min}$ が有意となっており、近隣歩行者との角度に関する変数が影響することが明らかとなった。また、 $N_{\alpha=90}$ や $N_{R=1.5m}$ も同様に有意となっており近隣の歩行者の数は進行方向の変化量にも影響していることが分かった。一方で、 $v_p$ が有意となっており速度が速くなると角度の変化量は小さくなることが分かった。さらに、小学生独自の説明変数について登校に関する変数のみが有意となっており、登校に比べて下校の進行方向の変化量には関係性が認められず予測しづらいことが示唆された。

表 5-6 説明変数(1)を用いた進行方向の変化量 $|\delta a|$ の重回帰分析結果

変数名	標準偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
$I_{p,q,\alpha=90} - h_{min}$	0.0830	0.0139	5.9836	$2.3300 \times 10^{-9**}$
$h_{min,\alpha=60}$	-0.0810	0.0157	-5.1706	$2.4214 \times 10^{-7**}$
$N_{\alpha=90}$	-0.0804	0.0140	-5.7343	$1.0350 \times 10^{-8**}$
$v_p$	-0.0412	0.0138	-2.9814	0.0029**
$N_{R=1.5m}$	0.0468	0.0167	2.8003	0.0051**
$S_{p,q,\alpha=360} - h_{min}$	0.0325	0.0137	2.3702	0.0178*
車両の有無	-0.0168	0.0134	-1.2511	0.2109
歩道	0.0065	0.0077	0.8390	0.4015
車道	0.0075	0.0092	0.8117	0.4170
路肩	-0.0252	0.0123	-2.0446	0.0409*
登校_直列_ひとり	-0.3222	0.0773	-4.1691	$3.1081 \times 10^{-5**}$
登校_直列_2人	-0.2105	0.0514	-4.0931	$4.3219 \times 10^{-5**}$
登校_直列_3人以上	-0.2149	0.0492	-4.3638	$1.3032 \times 10^{-5**}$
登校_並列_2人	-0.1809	0.0439	-4.1238	$3.7852 \times 10^{-5**}$
登校_並列_3人以上	0.0689	0.0183	3.7721	0.0002**
下校_直列_ひとり	-0.0509	0.0469	-1.0850	0.2780
下校_直列_2人	0.0406	0.0424	0.9575	0.3383
下校_直列_3人以上	-0.0604	0.0440	-1.3730	0.1698
下校_並列_2人	0.0015	0.0225	0.0686	0.9453
下校_並列_3人以上	-0.0362	0.0266	-1.3640	0.1726
決定係数	0.1132			
データ数	5177			

\*P 値<0.05, \*\*P 値<0.01

### 5-5-5 説明変数(2)を用いた速度の変化 $\delta v(t)$ の重回帰分析結果

説明変数(2)を用いて速度の変化 $\delta v$ について重回帰分析を行った結果を表5-7に示す。表5-7より、速度の変化 $\delta v$ について、説明変数(1)を用いて速度の変化 $\delta v(t)$ について重回帰分析を行った結果と同じく $v_p$ の標準偏回帰係数が-0.4720と最も影響がに大きく、速度の変化は $v_p$ に強く依存していることが分かる。次いで、 $N_{\alpha=360}$ や $h_{min,\alpha=120}$ も同じく有意であり近隣の歩行者や近隣の歩行者との距離が速度の変化に影響していることが明らかになった。さらに、車両との距離が遠いほど速度の変化は速くなることが明確となった。

表 5-7 説明変数(2)を用いた速度の変化 $\delta v$ の重回帰分析結果

変数名	標準偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
$v_p$	-0.4720	0.0396	-11.9317	$5.3116 \times 10^{-29}^{**}$
$l_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$	0.0895	0.1632	0.5482	0.5838
$h_{min,\alpha=120}$	0.1531	0.0480	3.1918	0.0015 <sup>**</sup>
$N_{\alpha=360}$	-0.2499	0.0504	-4.9578	$9.8304 \times 10^{-7}^{**}$
$N_{R=2m}$	-0.1368	0.0565	-2.4218	0.0158 <sup>*</sup>
$S_{p,q,\alpha=360} - h_{min}$	-0.5562	0.2444	-2.2760	0.0233 <sup>*</sup>
$S_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$	0.4810	0.2460	1.9552	0.0511
$l_{p,q,\alpha=360} - h_{min}$	0.1112	0.1600	0.6947	0.4876
$t_{p,q,\alpha=360}$	-0.0366	0.0336	-1.0877	0.2772
車両のとの距離	0.1278	0.0399	3.2065	0.0014 <sup>**</sup>
歩道	0.0567	0.0192	2.9551	0.0033 <sup>**</sup>
車道	-0.0311	0.0210	-1.4821	0.1390
路肩	-0.0922	0.0390	-2.3613	0.0186 <sup>*</sup>
登校_直列_ひとり	-0.1642	0.1890	-0.8688	0.3854
登校_直列_2人	-0.1637	0.1492	-1.0970	0.2732
登校_直列_3人以上	-0.1291	0.1983	-0.6511	0.5153
登校_並列_2人	-0.0793	0.1399	-0.5669	0.5710
登校_並列_3人以上	-0.1044	0.0760	-1.3731	0.1703
下校_直列_ひとり	-0.1884	0.1442	-1.3063	0.1921
下校_直列_2人	-0.0429	0.1571	-0.2732	0.7848
下校_直列_3人以上	-0.1240	0.1369	-0.9057	0.3655
下校_並列_2人	-0.0484	0.1409	-0.3433	0.7315
下校_並列_3人以上	-0.1290	0.1386	-0.9310	0.3523
決定係数	0.4523			
データ数	514			

\*P 値<0.05, \*\*P 値<0.01

### 5-5-6 説明変数(2)を用いた速度の変化量 $|\delta v(t)|$ の重回帰分析結果

説明変数(2)を用いて速度の変化量 $|\delta v|$ について重回帰分析を行った結果を表5-8に示す。表5-8より、速度の変化量 $|\delta v|$ について、1%有意は $v_p$ のみであり動画内に車両が存在する場合、速度の変化量 $|\delta v|$ は説明変数とほとんど関係がないことが分かった。

表 5-8 説明変数(2)を用いた速度の変化量 $|\delta v|$ の重回帰分析結果

変数名	標準偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
$I_{p,q,\alpha=60} - h_{min}$	0.2310	0.1326	1.7417	0.0824
$v_p$	0.3481	0.0514	6.7678	$5.2994 \times 10^{-11}^{**}$
$N_{R=2m}$	0.1228	0.0629	1.9532	0.0516
$S_{p,q,\alpha=150} - h_{min}$	0.2359	0.1144	2.0625	0.0399*
$N_{\alpha=60}$	0.0960	0.0640	1.4998	0.1345
$S_{p,q,\alpha=180} - t_{p,q}$	-0.1580	0.1144	-1.3810	0.1681
$I_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$	-0.1458	0.1307	-1.1153	0.2655
車両のとの距離	-0.0731	0.0611	-1.1959	0.2325
歩道	0.0368	0.0263	1.3982	0.1629
車道	-0.0212	0.0283	-0.7500	0.4537
路肩	-0.0561	0.0595	-0.9431	0.3463
登校_直列_ひとり	-0.4195	0.3619	-1.1593	0.2471
登校_直列_2人	-0.4122	0.2777	-1.4845	0.1386
登校_直列_3人以上	-0.5669	0.3600	-1.5747	0.1162
登校_並列_2人	-0.4303	0.2010	-2.1414	0.0329
登校_並列_3人以上	-0.0896	0.0611	-1.4659	0.1436
下校_直列_ひとり	-0.3596	0.2673	-1.3454	0.1793
下校_直列_2人	-0.0243	0.2933	-0.0827	0.9341
下校_直列_3人以上	-0.3761	0.2441	-1.5409	0.1242
下校_並列_2人	-0.3454	0.2198	-1.5710	0.1171
下校_並列_3人以上	-0.0622	0.0611	-1.0179	0.3094
決定係数	0.3371			
データ数	381			

\*P 値<0.05, \*\*P 値<0.01

### 5-5-7 説明変数(2)を用いた進行方向の変化 $\delta a(t)$ の重回帰分析結果

説明変数(2)を用いて進行方向の変化 $\delta a$ について重回帰分析を行った結果を表5-9に示す。表5-9より、進行方向の変化 $\delta a$ について、 $N_{\alpha=360}$ および $N_{R=2m}$ が有意であり車両が存在する場合でも近隣歩行者の数は進行方向の変化に影響することが分かった。また、 $I_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$ 、 $S_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$ 、 $S_{p,q,\alpha=150} - h_{min}$ などの近隣歩行者との角度に関する変数が影響することが明らかとなった。

表 5-9 説明変数(2)を用いた進行方向の変化 $\delta a$ の重回帰分析結果

変数名	標準偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
$I_{p,q,\alpha=60} - h_{min}$	0.0136	0.1380	0.0985	0.9216
$N_{R=2m}$	-0.2766	0.0693	-3.9913	0.0001**
$v_p$	0.1610	0.0514	3.1327	0.0019**
$N_{\alpha=360}$	-0.2228	0.0804	-2.7718	0.0059**
$h_{min,\alpha=120}$	-0.1316	0.0634	-2.0753	0.0387*
$I_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$	0.3051	0.1374	2.2209	0.0270*
$S_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$	0.3059	0.1154	2.6510	0.0084**
$S_{p,q,\alpha=150} - h_{min}$	-0.2653	0.1167	-2.2735	0.0236*
車両のとの距離	0.1925	0.0622	3.0973	0.0021**
歩道	0.0912	0.0269	3.3931	0.0008**
車道	-0.0018	0.0284	-0.0629	0.9499
路肩	-0.3053	0.0614	-4.9752	$1.0117 \times 10^{-6}$ **
登校_直列_ひとり	-0.2004	0.3826	-0.5237	0.6008
登校_直列_2人	-0.0577	0.2965	-0.1947	0.8457
登校_直列_3人以上	-0.1542	0.3831	-0.4026	0.6875
登校_並列_2人	0.1648	0.2100	0.7844	0.4333
登校_並列_3人以上	0.0127	0.0638	0.1983	0.8429
下校_直列_ひとり	-0.2812	0.2825	-0.9955	0.3202
下校_直列_2人	0.1308	0.3084	0.4242	0.6717
下校_直列_3人以上	-0.0286	0.2619	-0.1093	0.9130
下校_並列_2人	0.0458	0.2230	0.2054	0.8374
下校_並列_3人以上	0.0148	0.0629	0.2352	0.8142
決定係数	0.3368			
データ数	381			

\*P 値<0.05, \*\*P 値<0.01

### 5-5-8 説明変数(2)を用いた進行方向の変化量 $|\delta a(t)|$ の重回帰分析結果

説明変数(2)を用いて進行方向の変化量 $|\delta a|$ について重回帰分析を行った結果を表5-10に示す。表5-10より、進行方向の変化量 $|\delta a|$ について、 $N_{\alpha=60}$ や $N_{R=0.5m}$ などの近隣歩行者数が進行方向の変化量に影響し、標準偏回帰係数の値より近隣の歩行者数が多ければ進行方向の変化量は小さくなることが分かった。加えて、 $h_{min,\alpha=60}$ の標準偏回帰係数より距離が近くなると進行方向の変化量は小さくなることが明らかになった。また、小学生独自の説明変数について、下校\_直列\_2人は有意で標準偏回帰係数の値は正であり、下校\_直列\_2人の状況では進行方向の変化量が大きくなることが示唆された。

表 5-10 説明変数(2)を用いた進行方向の変化量 $|\delta a|$ の重回帰分析結果

変数名	標準偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
$h_{min,\alpha=60}$	-0.2311	0.0590	-3.9141	0.0001**
$I_{p,q,\alpha=360} - h_{min}$	0.4524	0.0430	10.5156	$1.0578 \times 10^{-22}$ **
$S_{p,q,\alpha=150} - h_{min}$	0.1102	0.1405	0.7843	0.4334
$N_{\alpha=60}$	-0.2918	0.0722	-4.0406	0.0001**
$N_{R=0.5m}$	-0.1198	0.0403	-2.9750	0.0031**
$S_{p,q,\alpha=360} - t_{p,q}$	0.1593	0.1393	1.1436	0.2536
車両のとの距離	0.1001	0.0539	1.8581	0.0640
歩道	0.0353	0.0230	1.5349	0.1257
車道	-0.1108	0.0255	-4.3384	$1.8722 \times 10^{-5}$ **
路肩	0.2421	0.0380	6.3773	$5.6004 \times 10^{-10}$ **
登校_直列_ひとり	-0.1033	0.0344	-3.0040	0.0029**
登校_直列_2人	0.0177	0.0465	0.3807	0.7037
登校_直列_3人以上	-0.2636	0.0409	-6.4523	$3.6007 \times 10^{-10}$ **
登校_並列_2人	0.0657	0.0465	1.4131	0.1585
登校_並列_3人以上	-0.0340	0.0391	-0.8705	0.3846
下校_直列_ひとり	-0.1306	0.0367	-3.5595	0.0004**
下校_直列_2人	0.3496	0.0430	8.1315	$7.1171 \times 10^{-15}$ **
下校_直列_3人以上	-0.0537	0.0461	-1.1637	0.2453
下校_並列_2人	0.2001	0.0761	2.6305	0.0089**
下校_並列_3人以上	-0.0077	0.0390	-0.1978	0.8433
決定係数	0.4377			
データ数	374			

\*P 値<0.05, \*\*P 値<0.01



## 5-6 第5章のまとめ

第5章では Dorine らが提唱した重回帰分析を用いた歩行者行動モデルの被説明変数および説明変数に、小学生独自の説明変数を追加して被説明変数との関係を分析し、小学生の行動特性を把握した。

これらのことから、近隣歩行者との位置や角度の関係より近隣歩行者の数に影響されることが分かった。また、狭い視野内の近隣歩行者の数や狭い範囲内の近隣歩行者の数が説明変数として選ばれていることが多く小学生は視野が狭いことを示唆できた。加えて、下校時に直列で歩行している2人以上のグループは速度の変化が大きく、行動に規則性がないため行動の予測が難しく危険であることが明らかになった。また、小学生は車両の有無に関係なく行動していることが分かり、小学生にとって車両の有無が行動の要因にならないことが示唆された。通学路を走行する車両は、これらのことを心掛けて注意して走行しなければならない。

ここで、小学生にとって通学路とは遊びの場であり成長の過程において重要な場所である<sup>3)4)5)</sup>。よって、車両が十分に速度を落として走行することや、通学路において下校時間のみ車両を通行止めにするなどの対策をする必要があると考える。

第6章では、重回帰分析の結果を用いて小学生の歩行者行動モデルの検証を行う。

## 第5章の参考文献・参考資料

- 1) Dorine C. Duives, Winnie Daamen, Serge P. Hoogendoorn: Operational Walking Dynamics of Crowds Modeled with Linear Regression, *Journal of the Transportation Research Board*, No.2623, Page.90-97, 2017.
- 2) 吉城 秀治, 辰巳 浩, 堤 香代子: 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, Val.52, No.3, Page.879-886, 2017.10.
- 3) 海野 遥香, 三輪 倅代, 橋本 成仁: 子どもの遊び・学外活動と QOL の関係に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Val.75, No.6, Page.I\_425-I\_431, 2020.
- 4) 吉田和義: 子どもの遊び行動と知覚環境の発達プロセス, 地理学評論, Val.81, No.8 Page.671-688, 2008.
- 5) 池田 勤, 近藤 隆二郎: 小中学校を対象とした子どもの道路への危険性認識と外遊び体験との関係に関する研究, 環境システム研究論文集, Val.33, Page.487-493, 2005.

## 第6章 小学生の歩行者行動モデルの検証

### 6-1 本章の目的

現在、わが国の交通事故は年々減少傾向にあるが、歩行中に交通事故に遭った全年齢層および小学生の法令違反の内容を見てみると、全年齢層では違反をしていた人が約4割であるのに対し、小学生は違反をしていた人が約6割であり、全年齢層と比較して高くなる結果となった。また、小学生の法令違反は飛び出しが約4割と最多であり、小学生の交通事故を減少させるには小学生の行動を予測する必要があると考えた。

そこで本研究では、5章で導き出した重回帰分析の結果より歩行者行動モデルの検証を行い、モデルの精度について分析することとした。

### 6-2 歩行者行動モデルの概要

歩行者行動モデルとは、動画や画像などから次の歩行者の動きを精緻に予測するものである。精度が高ければ、自動車での応用や新しい歩行空間の設計や計画のみならず既存歩行空間の評価や比較、改善など様々な場面で活躍する可能性がある。本研究は、歩行者行動モデルを通学路で活用することで小学生の行動を予測し、交通事故減少につなげることができるとは思っていないかと考えている。

### 6-3 小学生の歩行者行動モデルの理論展開

本項では、小学生の歩行者行動モデルを用いて  $n$  秒後の歩行位置を算出し歩行軌跡を予測する方法を示す。前提として、予測の間隔は1秒間隔であり、近隣歩行者の動きや車両の動きは取得したデータから変化しないものとする。また、歩行軌跡は時間  $t$  から始まるが、小学生の歩行者行動モデルの時系列変化については  $t-1 \Rightarrow t \Rightarrow t+1 \Rightarrow t+2 \Rightarrow t+3 \dots$  の順に進んでいくものとする。

歩行者行動モデルにおいて、時間  $t$  における位置座標を  $(x(t), y(t))$  とすると時間  $t-1 \Rightarrow t$  では、初期速度  $v(t)$  および初期進行方向  $a(t)$  を算出する。初期速度  $v(t)$  および初期進行方向  $a(t)$  の計算式を式(6-1)と式(6-2)にそれぞれ示す。

$$v(t) = \frac{\sqrt{(x(t) - x(t-1))^2 + (y(t) - y(t-1))^2}}{1} \quad \text{式(6-1)}$$

$$a(t) = \text{atan2}((x(t) - x(t-1)), (y(t) - y(t-1))) \quad \text{式(6-2)}$$

これは時間  $t$  における速度と進行方向である。ここで、重回帰分析の結果における切片とパラメータを用いて時間  $t$  における説明変数を代入し、導き出した速度の変化の予測値を

$\delta v_{predict}(t)$ , 進行方向の変化の予測値を $\delta a_{predict}(t)$ とすると時間  $t+1$  での速度の予測値  $v_{predict}(t+1)$ および進行方向の予測値 $a_{predict}(t+1)$ は, 式(6-3)および式(6-4)で算出することができる.

$$v_{predict}(t+1) = v(t) + \delta v_{predict}(t) \times 1 \quad \text{式(6-3)}$$

$$a_{predict}(t+1) = a(t) - \delta a_{predict}(t) \times 1 \quad \text{式(6-4)}$$

次に, 時間  $t \Rightarrow t+1$  において時間  $t+1$  における位置座標の予測値を $(x_{predict}(t+1), y_{predict}(t+1))$ とすると,  $(x_{predict}(t+1), y_{predict}(t+1))$ は式(6-5)および式(6-6)で算出することができる.

$$x_{predict}(t+1) = x(t) + (v(t) \times 1) \times \cos(a(t)) \quad \text{式(6-5)}$$

$$y_{predict}(t+1) = y(t) + (v(t) \times 1) \times \sin(a(t)) \quad \text{式(6-6)}$$

また, 重回帰分析の結果における切片とパラメータを用いて時間  $t+1$  における説明変数を代入し, 導き出した速度の変化の予測値を $\delta v_{predict}(t+1)$ , 進行方向の変化の予測値を $\delta a_{predict}(t+1)$ とすると時間  $t+2$  での速度の予測値 $v_{predict}(t+2)$ および進行方向の予測値 $a_{predict}(t+2)$ は, 式(6-7)および式(6-8)で算出することができる.

$$v_{predict}(t+2) = v_{predict}(t+1) + \delta v_{predict}(t+1) \times 1 \quad \text{式(6-7)}$$

$$a_{predict}(t+2) = a_{predict}(t+1) - \delta a_{predict}(t+1) \times 1 \quad \text{式(6-8)}$$

さらに, 時間  $t+1 \Rightarrow t+2$  において時間  $t+2$  における位置座標の予測値を $(x_{predict}(t+2), y_{predict}(t+2))$ とすると,  $(x_{predict}(t+2), y_{predict}(t+2))$ は式(6-9)および式(6-10)で算出することができる.

$$x_{predict}(t+2) = x_{predict}(t+1) + (v_{predict}(t+1) \times 1) \times \cos(a_{predict}(t+1)) \quad \text{式(6-9)}$$

$$y_{predict}(t+2) = y_{predict}(t+1) + (v_{predict}(t+1) \times 1) \times \sin(a_{predict}(t+1)) \quad \text{式(6-10)}$$

また、重回帰分析の結果における切片とパラメータを用いて時間  $t+2$  における説明変数を代入し、導き出した速度の変化の予測値を  $\delta v_{predict}(t+2)$ 、進行方向の変化の予測値を  $\delta a_{predict}(t+2)$  とすると時間  $t+3$  での速度の予測値  $v_{predict}(t+3)$  および進行方向の予測値  $a_{predict}(t+3)$  は、式 (6-11) および式 (6-12) で算出することができる。

$$v_{predict}(t+3) = v_{predict}(t+2) + \delta v_{predict}(t+2) \times 1 \quad \text{式 (6-11)}$$

$$a_{predict}(t+3) = a_{predict}(t+2) - \delta a_{predict}(t+2) \times 1 \quad \text{式 (6-12)}$$

時間  $t+2$  以降の計算は同じことの繰り返しとなる。

#### 6-4 小学生の歩行者行動モデルの検証

本項では、前項で示した順序にのっとり歩行者行動モデルの検証を行った。なお、5章において重回帰分析に使用したデータを用いて検証を行うため、対象歩行者を除いたデータを用い、説明変数 (1) における重回帰分析を再計算し検証を行った。速度の変化の予測値および進行方向の変化の予測値の計算結果を表 6-1 に示す。速度の変化の予測値および進行方向の変化の予測値ともに異なる値をとっていることが分かる。特に、速度の変化については符号が逆になっている。これは、本研究の歩行者行動モデルは説明力が低いことを表している。さらに、対象歩行者の実際の歩行軌跡、対象歩行者の歩行軌跡の予測値、近隣歩行者の実際の歩行軌跡を図 6-1 に示す。図 6-1 から対象歩行者の実際の歩行軌跡、対象歩行者の歩行軌跡の予測値が異なっていることを可視化することができた。また、実測値のデータ数が少なかつたため 2 秒後までの歩行位置しか予測することができなかつた。これは、説明変数が限定的であつたために説明変数の値を取得できる状況が少なく、取得データが少なくなつたのではないかと考える。

加えて、説明変数 (2) における重回帰分析結果を用いた小学生の歩行者行動モデルについては、実測値のデータ数が説明変数 (1) における重回帰分析を用いた小学生の歩行者行動モデルのデータ数よりも少なく、予測し検証することができなかつた。これは、車両が動画に映っていることが必須であり、車両が映っている時間が少なくなつたため、データ数が少なくなつたと考えられる。

表 6-1 実測値と予測値の比較

	$\delta v$	$\delta a$	$\delta v_{predict}$	$\delta a_{predict}$
t+1	-0.1510	-5.5232	0.1513	-10.7492
t+2	-0.0332	5.1016	0.2389	13.9135

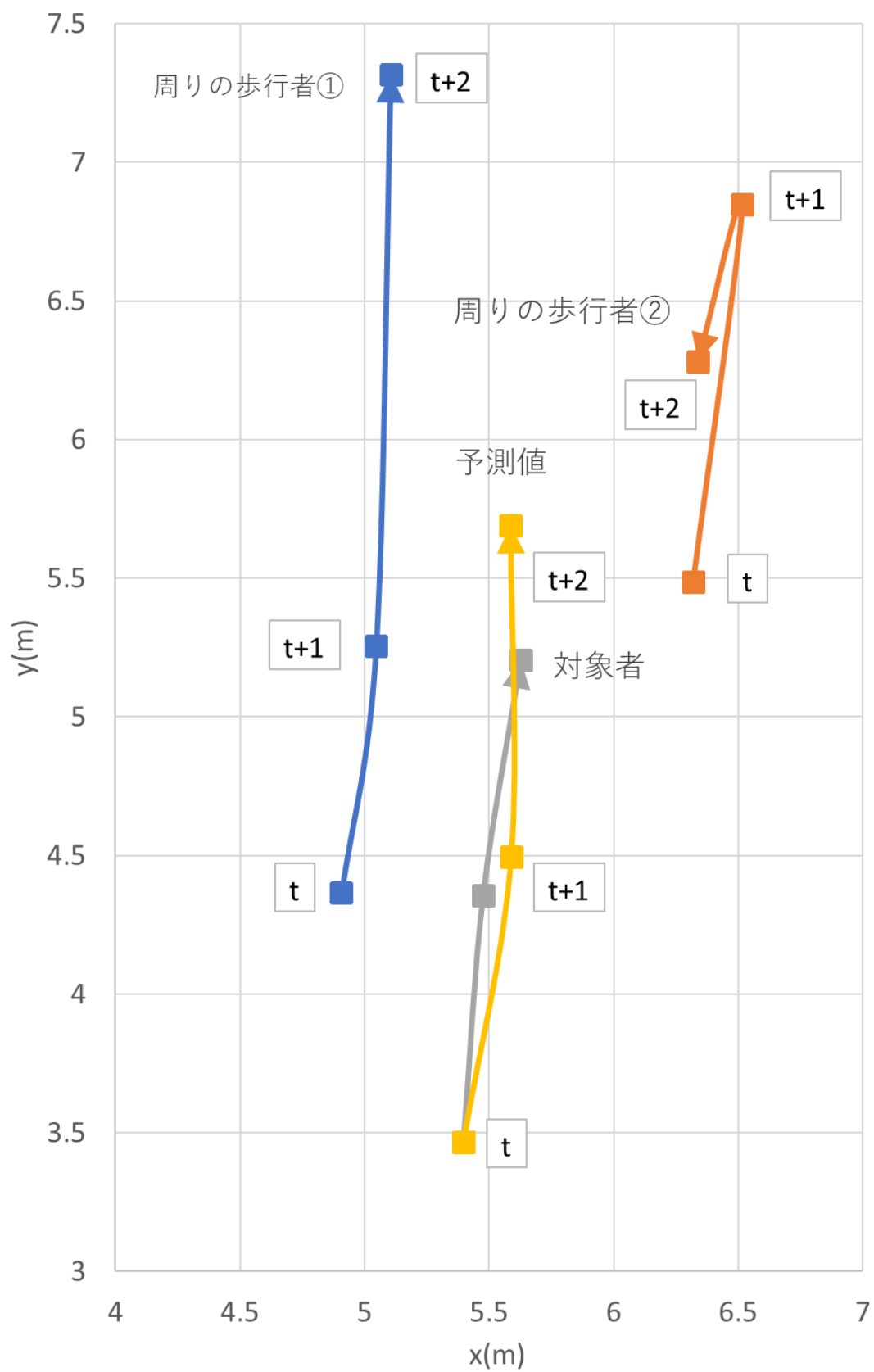


図 6-1 歩行軌跡の実測値および予測値

## 6-5 第6章のまとめ

第6章では重回帰分析を用いて小学生の歩行者行動モデルを構築した。

結果として、本研究の小学生の歩行者行動モデルは小学生の行動を説明できているとはいえなかった。このような結果になった原因として、重回帰分析の決定係数が低かったことから本研究に用いた説明変数では小学生の行動を予測するには不十分であり、他の効果的な変数を発見する必要があることを明らかにした。

次いで、実測値のデータ数が少なかったため2秒後までの歩行位置しか予測することができなかった。このような結果になった原因として、対象通学路において説明変数のような状況が起こることが少ないためデータの取得数が少なかったと考えられる。改善策として、より人通りの多い通学路を対象とするもしくはより広範囲を撮影し長い時間の歩行軌跡を取得することでデータの取得数が増えるのではないかと考える。

## 第7章 結論

### 7-1 本研究の成果

本研究では、通学路を撮影した動画より、軌跡データを用いて重回帰分析を行うことによって小学生の行動特性を把握し、行動モデルを構築することができた。この結果は、小学生のための通学路の在り方について検討するための有益な情報である。

小学生の歩行軌跡図より、登校時には歩道を歩いている小学生がほとんどだったが、下校時には登校時に比べて路肩を歩いている小学生が多いことを可視化できた。これより、小学生は歩道の有無や危険かどうかに関係なく目的地の方へ行くという意識が強いことが示唆できた。

重回帰分析の結果より小学生は視野が狭く、近隣歩行者との関係より近隣歩行者の数に影響されることが分かった。加えて、下校時に直列で歩行している2人以上のグループは速度の変化が大きく、行動に規則性がないため行動の予測が難しく危険であることが明らかになった。また、小学生は車両の有無に関係なく行動していることが分かり、小学生にとって車両の有無が行動の要因にならないことが示唆された。通学路を走行する車両は、これらのことを心掛けて注意して走行しなければならない。小学生にとって通学路とは遊びの場であり成長の過程において重要な場所である。よって、車両が十分に速度を落として走行することや、通学路において下校時間のみ車両を通行止めにするなどの対策をする必要があると考える。

重回帰分析を用いて小学生の歩行者行動モデルを構築し検証を行った結果、本研究の小学生の歩行者行動モデルは小学生の行動を説明できているとはいえず、説明変数や対象場所、対象範囲などを含めて検討していく必要があることを示唆した。

### 7-2 本研究の課題

今後の課題として、物体追跡の際にデータのスイッチングが発生し追跡できない状況が発生してしまったため、カメラの画質を高解像度にするもしくは高所からの撮影を試みる。また、本研究で用いた説明変数は車両が存在するときや直線的に進むと近隣歩行者と衝突するときなど限定的な場面が多いため、説明変数の見直しを行う、もしくは対象場所を人通りの多い通学路に設定することが挙げられる。また、本研究では小学生特有の説明変数をダミー変数で表しており、行動モデルの精度を向上させるには小学生特有の説明変数を実数で表す必要があると考える。加えて、今回扱ったデータは1つの小学校の小学生のみを対象としたデータなので行動モデルの汎用性を上げるため、様々な通学路における小学生のデータを取得する必要がある。今後は上記に述べた内容を考慮した分析が必要であり小学生のための通学路の在り方について有益な情報を提供できることを願っている。



## あとがき

本研究は、通学路を撮影した動画より、軌跡データを用いて重回帰分析を行うことによって小学生の行動特性を把握し、行動モデルを構築したものである。その結果、小学生は視野が狭く、近隣歩行者との関係より近隣歩行者の数に影響されることが分かった。加えて、下校時に直列で歩行している 2 人以上のグループは速度が速く行動に規則性がないため行動の予測が難しく危険であることが明らかになった。また、小学生は車両の有無に関係なく行動していることが分かり、小学生にとって車両の有無が行動の要因にならないことが示唆された。

本研究は、小学生の交通事故を減少させるため、通学時の小学生の行動に焦点を当て分析を行った。今後、わが国を担う小学生の安全、ならびに安全な通学路が実現されることを願い、あとがきとしたい。

本研究及び論文作成にあたっては、多くの方々よりご指導とご支援をいただきました。ここに深く感謝いたします。

本研究を遂行するにあたり、指導してくださった指導教員の高知工科大学システム工学群西内裕晶准教授に心よりお礼申し上げます。適切な助言により、日々の研究を円滑に行うことができました。

高知工科大学システム工学群高木方隆教授並びに高知工科大学システム工学群赤塚慎准教授には副指導教員・論文副審査として、様々な助言並びにご指導して頂いたこと深く感謝致します。

Qatar University の Dias 先生並びに高知工科大学助教授の An 先生には、研究方針についてアドバイスしていただき、お二人の助力がなければ本研究は成し遂げられませんでした。深く感謝いたします。

高知大学教育研究部総合科学系地域協働教育学部門岡村健志准教授には、ゼミの際に様々な助言を頂いたこと深く感謝致します。

国土交通省四国地方整備局土佐国道事務所の皆様には、通学路の動画を提供していただきましたことを深く感謝いたします。

高知県香美市立土佐山田小学校の皆様には、撮影に協力していただき深く感謝いたします。

都市・交通計画研究室の皆様には、ゼミやカンファレンスの場で何度も助言を頂きましたこと深く感謝いたします。

最後に、学生生活において 6 年の間、金銭面と生活面、精神面全てでサポートして頂いた両親により一層の感謝を致します。

2023 年 3 月 10 日

岩原 雄大