

歩行者が行き交う環境における自転車運転者向け 安全ルート生成の主観評価

木村 亮一[†] 亀田 能成^{††}

[†] 筑波大学 理工情報生命学術院システム情報工学研究群 知能機能システム学位プログラム

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1-3L308

^{††} 筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†]kimura.ryoichi@image.iit.tsukuba.ac.jp, ^{††}kameda@ccs.tsukuba.ac.jp

あらまし 自転車運転者に対して、危険認知および進路判断を支援する情報を提供することは有益である。これらの動的支援情報として、我々はこれまで、リスクポテンシャルマップおよび安全ルートを生成する方法を提案してきた。本稿では、これらの情報が自転車運転者から主観的に受容されるかについて、評価実験を行った結果について報告する。実験対象者 41 名に対して実施した評価の結果、リスクポテンシャルマップによる危険認知支援の有効性については肯定的回答が 84.1% であり、自転車走行支援のための危険可視化情報として主観的に受容されることが示された。また、生成された安全ルートに従って走行したいかという設問に対しては肯定的回答が 93.9% であり、生成ルート提示が自転車運転者に対する走行支援情報として実用的に受容されることが確認された。以上より、生成されたリスクポテンシャルマップおよび安全ルートは、自転車運転者に対する危険認知支援および進路判断支援として有効に機能することが示唆された。

キーワード 自転車, ITS, コンピュータービジョン, リスク評価

1. はじめに

近年、自転車利用者が増加し、移動手段としての自転車への注目が高まっている。その一方で、自転車が関与する事故の割合は増加傾向にあり、効果的な対策がますます重要となっている。特に歩行者が行き交う歩道やシェアスペースでは、歩行者との接触事故が大きな課題となっている。自転車は歩行者との距離が近く、急停止性能も十分ではないことから、周囲状況を的確に認識し、それに基づいて適切な判断を行うことが、安全な走行の実現に直結する。こうした危険性にもかかわらず、自転車の安全走行は運転者の知覚能力や経験に大きく依存している。

そこで、我々は自転車前方に取り付けた単眼カメラ画像のみを用いて、自転車運転者のために、歩行者が行き交う環境における安全な走行ルートを推定する手法を提案した [1]。前方カメラから得られる歩行者の位置・向き・距離といった情報に基づき、生成モデルを用いて、自転車にとっての危険度を定量化したリスクポテンシャルマップを生成する。さらに、このリスクポテンシャルマップを入力として、運転者の目標進行方向と衝突回避を同時に考慮した安全ルートを生成し、歩行者が行き交う環境下においても直感的に理解しやすいルート提示を可能にした。しかし、自転車走行においては最終的な進路判断および操作決定は運転者本人に委ねられるため、生成されたリスクポテンシャルマップおよび安全ルートが、人間が実際に視認した際に妥当な支援情報として受容されるか

については、さらなる検証が必要である。

本研究では、自転車前方に取り付けた単眼カメラ画像のみを入力として生成されたリスクポテンシャルマップおよび安全ルートを対象に、主観評価を行う。

評価には、歩行者が行き交う環境を再現したバーチャル環境内で走行した際に取得した映像を用いる。モデルにより推定されたリスクポテンシャルマップおよび安全ルートをオーバーレイ表示した提示動画を作成し、被験者に提示する。これにより、これらの提示情報が、自転車運転時における危険領域の理解および走行判断の支援として、主観的に受容されるかを明らかにする。

2. 関連研究

2.1 混在交通環境における主観的危険認知の評価

歩行者や移動体が混在する環境における主観的危険認知に関する研究はいくつか報告されている [2][3]。菱川らは、VR 環境下において歩行者とパーソナルモビリティの混在状況を再現し、被験者実験およびアンケート結果に基づいて主観的危険度評価指標を構築した [4]。Lorenz らは、ドライブレコーダー映像を提示し、被験者に主観的リスクを連続的に評価させる実験を行い、視線行動は主観的リスクの強い予測因子とはならず、年齢や運転経験などの個人特性および交通状況の文脈的要因が重要であることを示した [5]。これらの先行研究は、歩行者と移動体が混在する環境において、人が主観的に感じる危険度を実験的に示し、主観的危険認知を評価できるこ

とを明らかにしている。これらの知見は、カメラ画像から推定されたリスクポテンシャルマップの可視化結果についても評価対象として扱えることを示唆している。

2.2 危険度の可視化および提示

危険度の可視化および提示についても活発に研究が行われている [6][7]。Kozuka らは、車載前方カメラ画像から、将来歩行者が飛び出す可能性のある潜在的危険領域を画素単位のリスクマップとして推定する手法を提案した [8]。Guo らは、洪水ハザードマップを対象として、可視化インタフェースの設計要素が利用者のリスク認知および情報理解に及ぼす影響を実験的に評価した [9]。これらの研究は、リスクや危険度をヒートマップなどの可視化形式で提示することが、利用者の危険認識や理解の向上に有効であることを示している。

2.3 安全支援情報・ナビゲーションの主観評価

安全支援情報・ナビゲーションの主観評価に関する研究もいくつか報告されている [10][11]。Kolekar らは、主観的リスクを空間的な場として定式化した Driver's Risk Field を提案し、リスク閾値に基づく制御モデルにより、人間らしい運転挙動が複数の走行シナリオにおいて再現可能であることを示している [12]。太田らは、カーナビの経路検索ログデータを用いた分析により、ルート表示によって利用者の経路選択率が大きく変化することを示している [13]。これらの研究から、情報の提示方法が利用者のリスク知覚および意思決定に大きく影響することが示されている。

3. 自転車運転者支援

3.1 主観評価

リスクポテンシャルマップおよび安全ルートは、自転車運転者に対して走行中に提示することで、周辺環境に対する危険認知および進路判断を支援することを目的としている。これらの情報は最終的に運転者自身が視認し、意思決定に利用する支援情報であるため、提示内容が主観的に理解しやすく、走行支援として有効であると感じられるかを評価する必要がある。

そこで本研究では、生成されたリスクポテンシャルマップおよび安全ルートの提示に対する自転車運転者の主観的評価を行う。

リスクポテンシャルマップは、自転車走行環境に特化した危険度推定を行い、将来的に危険となり得る領域を事前に可視化することで安全運転を支援することを目的としている。本評価ではまず、生成されたリスクポテンシャルマップにより表示された危険領域と、自転車運転者が主観的に認知する危険領域との一致度を評価する。これにより、モデルによって推定された危険領域が、自転車走行時に人間が感じる周辺環境の危険分布と整合しているかを検証する。また、リスクポテンシャルマップは危険領域のみならず、車道や走行可能領域も同時に提示しているため、それらの識別性についても評価を行った。これにより、本マップ表示が周辺環境の空間的理解を支援する情報として機能しているかを検証する。さらに、リスクポテンシャルマップを提示することで、自転車運転時における危険への気づきにつながるかについても評価する。

これにより、本マップが目的とする危険の事前認知支援および注意喚起支援として有効に機能するかを検証する。

安全ルートは、推定された危険領域を回避するように生成された一本の連続的な推奨走行経路である。本評価では、生成されたルートを自転車運転者が視認した際に、主観的に安全であると感じられるかを評価する。これにより、モデルによって生成されたルートが、人間の感覚に照らして安全な経路として受容可能であるかを検証する。また、提示するルートの長さが、進路判断を行う上で適切であるかについても評価する。提示ルートは将来の走行方向を示す支援情報であるため、短ければ判断材料として不十分となり、長ければ現実的な操作判断とかけ離れる可能性がある。この評価により、本研究で設定した提示ルート長が、自転車走行時の進路選択支援として妥当であるかを検証する。さらに、生成されたルートが、自転車運転者自身が想定する走行経路と近いと感じられるかについても評価する。自転車の走行経路は運転者ごとに異なるため、本評価を通じて、モデル生成ルートが個々の運転者の進路と整合しているかを検証する。加えて、提示されたルートに対して危険性を感じるかどうかについても評価する。本研究では単一画像ではなく走行動画としてルートを提示しているため、時間的変化を含めた状況の中で、提示経路が危険に見えないかという観点から評価を行う。また、提示ルートに対する信頼性についても評価する。ここでいう信頼性とは、提示されたルート情報を走行判断の根拠として信じられるかという観点であり、安全性評価とは異なる主観指標である。最後に、提示された生成ルートに従って実際に走行したいと感じるかについても評価する。安全性、危険性、信頼性などの個別評価に加え、最終的な行動意図を確認することで、本安全ルート提示が自転車運転者に対する走行支援情報として実用的に受容されるかを総合的に検証する。さらに、リスクポテンシャルマップと安全ルートを同時に提示した場合の視認性および直感的理解のしやすさについても評価し、情報提示方法の妥当性についても検討する。

3.2 リスクポテンシャルマップ

リスクポテンシャルマップは、歩行者の位置、向き、移動方向、自転車との相対距離といった状態情報に基づき定義される。これは、自転車前方画像の任意の座標に対して、衝突危険度を示すスカラー値を割り当てた二次元場である。

安全運転を支援するため、将来的に危険となり得る領域を事前に提示することが、リスクポテンシャルマップの目的である。リスクポテンシャルマップの危険領域は、地面座標系において自転車前方 30m 以内に存在する歩行者を評価対象とする。台湾交通部運輸研究所が策定した自転車道設計指針 [14] では、自転車の安全かつ快適な走行を確保するため、前方視認距離として 8 から 10 秒先に相当する距離を推奨している。自転車速度を 3m/s と設定すると、前方視認距離は 24m から 30m に相当する。一方で、評価対象距離を過度に拡大すると、推定精度の低下や運転者への認知負荷の増大を招く可能性があるため、リスクポテンシャルマップの評価範囲を自転車前方 30m に設定する。

表1 リスクポテンシャルマップに関する主観評価アンケート項目

No.	設問内容
Q1	リスクポテンシャルマップで示された危険領域は、あなたが自転車を運転していて危険だと感じる範囲と一致していますか？
Q2	歩道と車道の区別は、認識できますか？
Q3	リスクポテンシャルマップを見たときに、危険なエリアと安全なエリアをすぐに把握できますか？
Q4	このリスクポテンシャルマップは、あなたが自転車を運転する際に、危険に気づきやすくなると思いますか？

表2 安全ルートおよび提示情報の統合表示に関する主観評価アンケート項目

No.	設問内容
Q5	提示されたルートは、安全だと感じますか？
Q6	提示しているルートの長さは、進路を判断するうえで適切だと感じますか？
Q7	このルートは、あなた自身が実際に選択しそうな走行ルートに近いと思いますか？
Q8	このルートは、信頼できると感じますか？
Q9	提示されたルートは、危険だと感じましたか？
Q10	このルートに従って走行したいと思いますか？
Q11	リスクポテンシャルマップと安全ルートを同時に表示したとき、見やすく、直感的に理解しやすいと感じましたか？

歩行者に対する危険度評価は歩行者前方2.5mとする。既存研究 [15] によると、自転車走行時の予期しない危険に対する平均的な反応時間は0.84sと報告されている。自転車の走行速度を3m/sとするため、反応距離は $3\text{m/s} \times 0.84\text{s} \approx 2.5\text{m}$ となる。危険領域を過度に広く設定すると、走行可能領域が狭まり、運転者に過剰な警告や心理的負担を与える可能性があるため、これらを考慮し、2.5mと設定する。

歩行者前方における有効角度範囲については、下限を60°として上限を120°と設定する。また、有効角度範囲を補間する自転車と歩行者距離の範囲として最小距離を5m、最大距離を13mとする。これは、歩行者と自転車が近接した状況における危険度および影響範囲を考慮したものである。

また、既存研究 [3] によれば、自転車が歩行者を追い越す際に確保される側方距離は0.6mから1.0m程度であり、すり抜け幅2.7mから3.0m、離隔1.05mから1.2mの場合には、双方がほとんど危険を感じないことが示されている。

これらの知見を踏まえ、歩行者前方2.5mの危険領域に対して横方向幅が過度に広くならないよう、60°に設定する。このとき有効幅は $2.5\text{m} \times \sin 30^\circ = 1.25\text{m}$ となる。

3.3 安全ルート

歩行者が行き交う環境における自転車走行を想定し、自転車の走行速度は3m/sの一定速度と設定する。停止距離を考慮し、生成するルートの終点は前方10mの位置までとし、そこまでを結ぶ一本の連続軌跡として定義する。さらに、ルートは走行可能領域内に限定し、危険領域を回避する方向へ進行するよう設計する。このルート終点距離の設定について、AASHTOガイドライン [16] では、設計上の反応時間として2.5sが採用されている。同条件下での停止距離は約8.5mに達する。さらに、日本の警察庁では、夜間走行時において前方少なくとも10m先を照射可能な前照灯の使用が求められている。これは、自転車運転者が実際の走行環境において行動判断を行う際に必要とされる可視範囲の一つの指標として解釈できる。以上の知見を踏まえ、停止・回避といった即時的な行動判断が可能な範囲として、安全ルートの終点を自転車前方10mに設定

する。

4. 主観評価方法

本研究では、歩行者が行き交う環境を再現したバーチャル環境内を自転車で走行した際に取得した4種類のシーン統合映像を用い、モデルにより生成されたリスクポテンシャルマップおよび安全ルートの提示に対する主観評価をアンケートにより実施した。

評価に先立ち、被験者に対して本研究の目的およびシステム概要の説明を行い、リスクポテンシャルマップおよび安全ルートの役割と設計意図について事前説明を実施した。

評価用映像は、四つのシーンを連続して結合した映像で構成した。映像は、図1、図2に示すリスクポテンシャルマップのみをオーバーレイした映像とリスクポテンシャルマップと安全ルートの両方をオーバーレイした映像の2種類を用意した。

評価の前段階として、被験者には、評価には使用しない映像として、歩行者が行き交う環境において自転車で直進走行する映像を事前に視聴させた。これは、評価時に提示される可視化情報に注意を集中できるよう、映像内容をあらかじめ把握させることを目的としている。その後、リスクポテンシャルマップのみをオーバーレイした映像(図1)を視聴させ、リスクポテンシャルマップに関する設問への回答を収集した。設問内容は表1に示す。次に、リスクポテンシャルマップと安全ルートをオーバーレイした映像(図2)を視聴させ、安全ルートおよび統合提示に関する設問への回答を収集した。設問内容は表2に示す。

アンケートの各設問は、7段階のリッカート尺度により評価した。評価は「まったくそう思わない」から「とても思う」までの7段階で構成し、中立の選択肢として「どちらとも言えない」を含む尺度とした。中立(0)の回答は態度が明確でないため、肯定側・否定側のいずれにも偏らないよう、割合計算時には両側へ等分して配分した。

なお、本評価では実際の自転車走行時におけるリアルタイム提示状況を模擬することを目的とし、動画の一時停止、再生の

やり直し、巻き戻しは禁止とした。被験者には、構成した約40秒の2種類の動画をそれぞれ1回のみ連続再生して提示した。



図1 リスクポテンシャルマップ映像

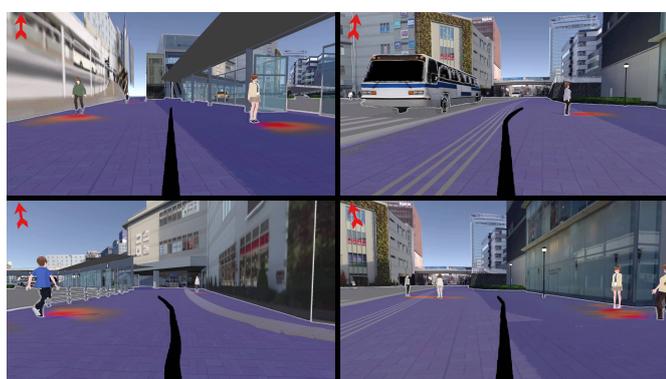


図2 リスクポテンシャルマップおよび安全ルート映像

5. 結果

5.1 リスクポテンシャルマップの主観評価

実験対象者は、自転車を日常的に利用する者からほとんど利用しない者までを含む、20代の男女41名とした。各設問に対する主観評価アンケートの回答人数の分布を表3、回答割合の分布を図3に示す。

生成されたリスクポテンシャルマップと被験者自身の危険領域認識との一致を問うQ1では、1から3までの肯定的回答を選択した被験者は92.7%であった。この結果から、生成された危険領域の分布は、被験者が想定する危険領域と概ね整合している傾向が示された。

リスクポテンシャルマップにおける色分布による周辺環境の認識を問うQ2およびQ3では、肯定的回答の割合はそれぞれ97.6%、91.5%であった。Q2は歩道と車道の区別が可能かを問う設問であり、識別可能であると回答した被験者が多数を占めた。一方、Q3は危険エリアと安全エリアの判別性を問う設問であり、肯定的回答は多数を占めたものの、Q2と比較すると「とてもそう思う」と回答した割合は低い結果となった。

自転車運転中におけるリスクポテンシャルマップの危険認知支援効果を問うQ4では、肯定的回答は84.1%であった。この結果から、本リスクポテンシャルマップは、自転車走行時の危険認知支援として有効であると評価される傾向が確認された。

表3 リスクポテンシャルマップに関する主観評価結果

	-3	-2	-1	0	1	2	3
Q1	0	2	1	0	17	19	2
Q2	0	0	0	2	7	12	20
Q3	0	1	1	3	12	12	12
Q4	0	1	4	3	8	12	13

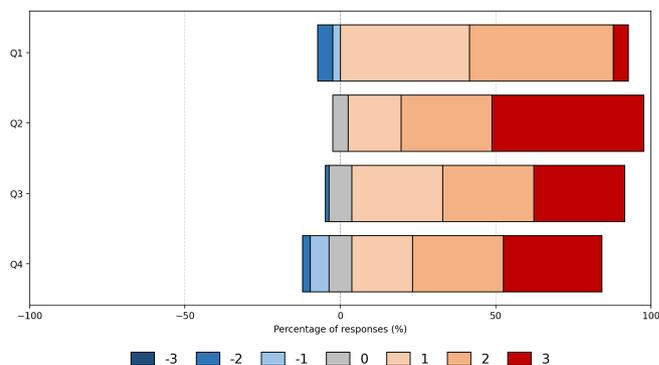


図3 リスクポテンシャルマップに関する主観評価結果の割合分布

一方で、他の設問と比較して否定的回答も一定数存在した。

5.2 安全ルートおよび提示情報の統合表示に関する主観評価

各設問に対する主観評価アンケートの回答人数の分布を表4、回答割合の分布を図4に示す。生成されたルートが安全であると感じられるかを問うQ5では、肯定的回答を選択した被験者は97.6%であった。この結果から、生成されたルートは、自転車走行時に提示された場合に安全な進路として認識される傾向が示された。

生成ルートの長さが進路判断に適切であるかを問うQ6では、肯定的回答は86.6%であった。この結果から、設定したルートの長さは、進路判断支援として概ね適切であると評価される傾向が示された。

生成ルートと、被験者が実際に走行すると想定するルートとの整合性を問うQ7では、肯定的回答は95.1%であった。このことから、生成されたルートは、被験者の想定する走行経路と概ね一致していると評価された。

生成ルートの信頼性を問うQ8では、肯定的回答は93.9%であった。一方で、ルートの安全性評価のQ5の肯定的回答率である97.6%と比較するとやや低い値であった。この結果から、安全であると感じられることと、十分に信頼できると判断されることの間には、一定の差が存在する可能性が示唆される。

生成されたルートが危険であると感じるかを問うQ9では、肯定的回答は69.5%であり、他設問と比較して最も低い割合であった。また、スコア-3を選択した被験者も4.9%存在した。この結果は、多くの被験者がルートを安全寄りに評価する一方で、一部には危険性を感じる評価も含まれていることを示している。

生成ルートに従って走行したいかを問うQ10では、肯定的

回答は93.9%であった。この結果から、生成されたルート提示は、走行支援情報として主観的に受容される傾向が示された。

リスクポテンシャルマップと安全ルートを同時に表示した際の視認性および直感的理解のしやすさを問う Q11 では、肯定的回答は97.6%であった。このことから、危険度分布と推奨ルートを統合して提示する可視化方法は、周辺環境の危険認知と進路判断を同時に支援する表示形式として有効である可能性が示唆された。

表4 安全ルートおよび提示情報の統合表示に関する主観評価結果

	-3	-2	-1	0	1	2	3
Q5	0	0	0	2	7	19	13
Q6	0	0	4	3	10	13	11
Q7	0	0	1	2	18	12	8
Q8	0	0	1	3	15	16	6
Q9	2	6	3	3	10	7	10
Q10	0	0	1	3	17	13	7
Q11	0	0	0	2	5	20	14

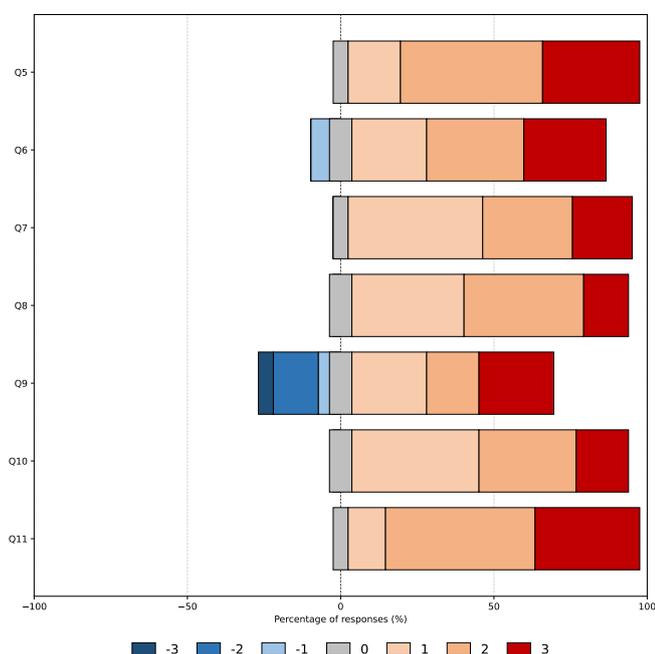


図4 安全ルートおよび提示情報の統合表示に関する主観評価結果の割合分布

6. 考 察

6.1 リスクポテンシャルマップ

生成したリスクポテンシャルマップと、被験者が認知する危険領域との整合性に関する評価である Q1 では、肯定的回答

が92.7%であった。この結果から、自転車前方の周辺環境から危険度を空間的に可視化する本マップは、人間の危険認知と概ね整合しており、妥当な危険領域表現となっていることが示唆される。

一方で、肯定的回答の内訳を見ると、スコア1が41.5%、スコア2が46.3%、スコア3が4.9%であり、「とてもそう思う」とする強い肯定の割合は相対的に小さい傾向が見られた。この結果から、危険領域の基本的な配置や分布傾向については概ね受容されていることが分かる。一方で、シーンによっては生成結果の広がりや境界形状にばらつきが見られ、これが評価に影響を与えている可能性がある。

周辺環境の識別性に関する評価では、歩道や車道などの路面領域の識別性を問う Q2 において肯定的回答が97.6%であったのに対し、危険領域と走行可能領域の判別しやすさを問う Q3 では91.5%とやや低い値を示した。路面領域は空間構造が明確であり、モデルによる推定が比較的安定しやすい一方、歩行者起因の危険領域は対象までの距離、姿勢、周囲状況の影響を受けやすく、リスク分布の形状に変動が生じやすい。この差は、対象カテゴリによる推定安定性の違いが主観評価に反映された結果であると考えられる。

危険認知支援としての有効性を問う Q4 では、肯定的回答が84.1%であった。肯定的評価が多数を占めていることから、本リスクポテンシャルマップは自転車走行時における危険領域の把握を支援する情報として有効に機能していると解釈できる。一方で否定的回答も一定数存在しており、危険度推定の空間精度および表示の安定性をさらに向上させることで、認知支援効果がより高まる余地があると考えられる。

以上より、本研究で提案するリスクポテンシャルマップは、自転車走行支援のための危険可視化情報として主観的に受容される特性を有することが確認された。

6.2 安全ルートおよび表示

生成された安全ルートの妥当性に関する評価である Q5 では、97.6%の被験者が肯定的に回答しており、内訳としてもスコア1が17.1%、スコア2が46.3%、スコア3が31.7%と、高い評価が多数を占めた。生成結果には局所的な揺らぎや形状のばらつきが含まれるにもかかわらず、全体として安全な進路として受け取られていることが確認できた。このことから、提案手法によるルート生成は、主観的な安全性の観点において妥当である可能性が示唆される。

一方で、生成ルートの長さの適切性に関する評価である Q6 では、86.6%が肯定的であったものの、スコア-1の回答も9.8%存在した。安全ルートの学習データを自転車前方10mに統一して作成しているが、モデルには生成ルートの長さを明示的に制約する条件を与えていない。そのため、シーンによって生成されるルート長にばらつきが生じ、これが一部の被験者にとっては適切でないと認識された可能性がある。この結果は、生成ルートに対する長さ制御や終端条件の明示的な導入が、今後の改良点となることを示している。

生成ルートと被験者が想定する走行経路との整合性に関する評価である Q7 では、95.1%が肯定的であったが、内訳では

スコア1の割合が43.9%と最も高く、中程度の肯定評価が多い傾向が見られた。自転車は車線拘束が弱く、運転者ごとに選択する走行経路が多様であるため、生成された安全ルートは、完全な一致ではなく「概ね妥当」と評価される傾向が現れたと考えられる。これは、自転車走行における進路選択の個人差と、モデルの生成精度の双方を反映した結果であると解釈できる。

生成ルートの信頼性に関する評価であるQ8では、肯定的回答は93.9%であった。安全性の評価であるQ5が97.6%であったことと比較すると、「安全である」と「信頼して従える」との間には一定の差が存在することが分かる。現在のモデルは各フレームを独立に処理してルートを生成しているため、連続フレーム間でルート形状の揺らぎが生じる場合がある。この時間的一貫性の不足が、安全とは認識されつつも信頼性評価がやや低下した要因であると考えられる。

生成ルートが危険であるかどうかに関する評価であるQ9では、肯定的回答は69.5%にとどまり、他設問と比較して相対的に低い値となった。否定的評価の内訳を見ると、スコア-2および-3も一定数存在している。生成ルートの一部には、将来位置に相当する先端部で左右方向への振れが生じるケースがあり、進行先の安定性が低く見える場面がある。自転車運転では進行方向の予測可能性が重要であるため、この先端部の不安定さが危険性として知覚された可能性がある。

それにもかかわらず、生成ルートに従って走行したいかに関する評価であるQ10では93.9%が肯定的であった。これは、一部に危険性の指摘がある場合でも、支援情報としての利用価値は高く評価されていることを示している。自転車運転は最終的に運転者自身の判断に委ねられる行為であり、提案手法によるルート提示は絶対的な指示ではなく、判断支援情報として受容されていることが示唆される。

さらに、リスクポテンシャルマップと安全ルートを同時に提示した場合の視認性および直感的理解のしやすさに関する評価であるQ11では、97.6%が肯定的であった。この結果から、危険度の分布情報と推奨進路を重畳表示する手法は、認知的負担を過度に増加させることなく、運転判断を支援する可視化手法として有効である可能性が示された。

以上より、安全ルートおよび同時提示は、自転車走行支援情報として主観的に受容される特性を有することが確認された。

7. おわりに

本研究では、自転車運転者に対して、歩行者の位置、進行方向、自転車との距離といった歩行者状態情報を用い、生成モデルに基づいて生成された画像ベースのリスクポテンシャルマップおよび安全ルートを対象として、それらの同時表示を含む主観評価実験を実施した。

評価の結果、リスクポテンシャルマップによる危険認知支援の有効性については肯定的回答が84.1%であり、自転車走行支援のための危険可視化情報として主観的に受容されることが示された。また、生成された安全ルートに従って走行したいかという設問に対しては肯定的回答が93.9%であり、生成ルート提示が自転車運転者に対する走行支援情報として実

用的に受容されることが確認された。

これらの結果から、生成されたリスクポテンシャルマップおよび安全ルートは、自転車運転者に対する走行支援情報として主観的に受容される特性を有することが確認された。リスクポテンシャルマップおよび安全ルートは、歩行者が行き交う環境における危険認知支援および進路判断支援のための基盤的手法として有効であることが示唆される。

本研究の一部は、Capgemini社の支援を受けて行われた。

文 献

- [1] R. Kimura, C. Leung, T. Rodrigues, H. Pandya, B. Coelho, and Y. Kameda, "Safe route estimation from bicycle-mounted camera in pedestrian-active environments," International Workshop on Advanced Image Technology, 2026.
- [2] 山中英生, 半田佳孝, 宮城祐貴, "ニアミス指標による自転車歩行者混合交通の評価法とサービスレベルの提案," 土木学会論文集, vol.730, pp.27-37, 2003.
- [3] 森健二, 横関俊也, 矢野伸裕, 萩田賢司, "歩行者の危険感に配慮した普通自転車歩道通行可の実施基準," 交通工学論文集, vol.1, no.2, pp.B.68-B.75, 2015.
- [4] 菱川貴之, 井料美帆, "パーソナルモビリティと歩行者の混在交通における主観的危険度評価指標の提案," 土木学会論文集 D3 (土木計画学), vol.77, no.5, pp.I.893-I.903, 2022.
- [5] M. Lorenz, J. Hilbert, P.A. Michael Markus Peter, P. Wintersberger, and P. Ebel, "Visual sampling behavior does not explain risk perception: A data-driven xai investigation," Proceedings of the 17th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, pp.80-91, 2025.
- [6] Y. Chen and Z.-R. Tang, "Assessing urban safety perception through street view imagery and transfer learning: A case study of wuhan, china," Sustainability, vol.17, 7641, 2025.
- [7] R. Xin, S. Wang, Y. Chen, J. Cheng, M. Liu, and J. Ma, "Riskmap: A unified driving context representation for autonomous motion planning in urban driving environment," 2024 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.1960-1965, 2024.
- [8] K. Kozuka and J.C. Niebles, "Risky region localization with point supervision," 2017 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, pp.246-253, 2017.
- [9] J.-X. Guo, S.-C. Chen, and M.-C. Zheng, "Enhancing risk perception and information communication: An evidence-based design of flood hazard map interfaces," Smart Cities, vol.9, no.1, 2026.
- [10] X. Yuan, J. Yan, L. Sun, F. Cheng, Z. Guo, and H. Yu, "The influence of presentation frames of visualization information for safety on situational awareness under a three-level user-interface design," International Journal of Environmental Research and Public Health, vol.20, no.4, 3325, 2023.
- [11] M.R. Ibrahim, J. Haworth, N. Christie, and T. Cheng, "Cyclingnet: Detecting cycling near misses from video streams in complex urban scenes with deep learning," IET Intelligent Transport Systems, vol.15, no.10, pp.1331-1344, 2021.
- [12] S. Kolekar, J. De Winter, and D. Abbink, "Human-like driving behaviour emerges from a risk-based driver model," Nature Communications, vol.11, no.1, 4850, 2020.
- [13] 太田恒一平, 渡部啓太, 小竹輝幸, 梶原康至, "カーナビが経路選択を左右する," 第53回土木計画学研究発表会講演集, 2016.
- [14] 高錫鈺, 黃志清, 田珍綺, 張耕碩, 洪筱婷, 蘇振維, 張舜淵, 呂怡青, 陳威勳, 鄭嘉盈, "自行車道系統規劃設計參考手冊(2025年修訂版)", 交通部運輸研究所, 2025.
- [15] S. Martin and A. Bigazzi, "Cyclist perception-reaction time and stopping sight distance for unexpected hazards," Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, vol.151, no.6, 04025030, 2025.
- [16] American Association of State Highway and Transportation Officials, "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", 7th edition, AASHTO, Washington, DC, 2018.