

令和7年度
修士学位論文

音声入力を用いた自転車利用者による危険 箇所記録方式の提案と評価

Proposal and Evaluation of a Voice Input Method for
Recording Hazardous Locations by Bicycle Users

佐藤 光

指導教員 敷田 幹文 教授

2026年2月27日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻
情報学コース

要旨

音声入力を用いた自転車利用者による危険箇所記録方式の提案 と評価

佐藤 光

日本では自転車が広く利用される一方、交通事故が社会課題となっている。その主な危険要因として、静的な「狭い道路」や、路上駐車などの動的な「障害物」、歩行者の「密集」が挙げられる。しかし、既存のナビゲーションアプリは、急な坂やトンネルの有無といった静的情報は提供するものの、数分から数時間単位で変化する動的な障害物や、利用者が体感する主観的な危険認知をリアルタイムに共有する仕組みが不十分である。そこで本研究では、利用者が危険を感じた際に「狭い」「障害」「いっぱい」のキーワードを音声入力し、危険箇所を記録・共有する方式を提案する。自転車シミュレーターを用いた昼間・夜間環境での実験を通して、3つの危険場面における音声入力のタイミング、操作性、心理的抵抗を評価した。

キーワード 運転支援, 自転車, 音声入力

Abstract

Proposal and Evaluation of a Voice Input Method for Recording Hazardous Locations by Bicycle Users

Ko SATO

In Japan, while bicycles are widely used, traffic accidents remain a significant social issue. Major risk factors include static conditions such as narrow roads, dynamic obstacles such as illegally parked vehicles, and high pedestrian density. However, existing navigation applications primarily provide static information, such as the presence of steep slopes or tunnels, and lack mechanisms to share dynamic obstacles that change over time spans ranging from minutes to hours, as well as users' subjective perceptions of risk, in real time. Therefore, this study proposes a method for recording and sharing hazardous locations by allowing users to input voice keywords—"narrow," "obstacle," and "crowded"—when they perceive danger. Through experiments conducted in daytime and nighttime environments using a bicycle simulator, we evaluated the timing of voice input, operability, and psychological resistance across three hazardous scenarios.

key words driver-assistance, bicycles, voice input

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	関連研究	4
2.1	自転車安全運転支援方式に関する研究	4
2.2	移動中における入出力に関する研究	5
2.3	利用者参加型情報記録システムの研究	6
第 3 章	提案方式	8
第 4 章	昼間環境における評価実験	10
4.1	実験概要	10
4.1.1	音声入力の正確性	11
4.1.2	音声入力の操作性と認知負荷の評価	11
4.1.3	危険箇所における危険認知と発話タイミングの評価	11
4.1.4	実験の妥当性評価	11
4.2	実験環境	11
4.3	実験条件	12
4.3.1	被験者	12
4.3.2	危険箇所	13
4.3.3	実験の流れ	13
4.4	結果	17
4.4.1	発話開始と危険箇所通過時との時間差分	17
4.4.2	操作性と認知負荷の汎用性	19
4.4.3	キーワードの発話容易性及び心理的抵抗	19
4.4.4	実験環境に対する没入感	20

目次

4.4.5	音声入力の有効性と音声認識精度	20
	評価指標の定義	20
	評価方法	21
	評価結果	21
	誤り原因の分析	23
	場面別の成功率	23
4.5	考察	24
4.5.1	発話タイミングと危険対象の性質	24
4.5.2	操作性と認知負荷の汎用性	24
4.5.3	キーワードの発話しやすさと心理的抵抗	25
4.5.4	音声入力の有効性と音声認識精度	26
4.5.5	実験環境に対する没入感	27
第 5 章	夜間環境における評価実験	28
5.1	実験概要	28
5.1.1	実験環境	28
5.2	実験条件	29
5.2.1	被験者	29
5.3	結果	30
5.3.1	操作性と認知負荷の汎用性の比較	30
5.3.2	発話タイミングに関する比較	31
	危険箇所通過時刻との時間差分	31
	夜間環境内での危険箇所間比較	33
	危険認知時点の比較	34
	時間的発話余裕の比較	35
5.3.3	キーワードの発話しやすさと心理的抵抗に関する比較	36

目次

	キーワードの話しやすさ	36
	夜間環境でのキーワード間比較	36
5.4	実験環境に対する没入感の比較	37
5.5	考察	38
5.5.1	音声入力の操作性と認知負荷	38
5.5.2	危険箇所における危険認知と発話タイミング	39
5.5.3	キーワードの発話しやすさと心理的抵抗	40
5.5.4	実験環境に対する没入感	41
第 6 章	提案方式の有効性検証	42
6.0.1	原則 1 の検証：ハンズフリー操作による安全性の確保	42
	検証方法	42
	検証結果	42
	原則 1 の達成度	43
6.0.2	原則 2 の検証：主観的危険認知の即時記録	43
	検証方法	43
	検証結果	43
	原則 2 の達成度	44
6.0.3	原則 3 の検証：低認知負荷な入力インターフェース	45
	検証方法	45
	検証結果	45
	原則 3 の達成度	46
6.0.4	総合評価	47
	提案方式の有効性	47
6.0.5	本研究の限界	47
	シミュレーション環境による制約	47

目次

被験者属性・システムの制約	48
第7章 まとめ	49
謝辞	50
参考文献	51
研究業績	54

目次

4.1	実験 1 の様子	12
4.2	狭路	13
4.3	障害物	13
4.4	密集	13
4.5	危険場面別の発話タイミング (箱ひげ図)	18
4.6	危険場面別の危険認知時点 (箱ひげ図)	18
5.1	実験 2 の様子	29
5.2	狭路	30
5.3	障害物	30
5.4	密集	30
5.5	発話タイミングの昼夜比較の箱ひげ図	33
5.6	危険認知時点の昼夜比較の箱ひげ図	35

表目次

4.1	評価項目と設計原則の対応	10
4.2	実験中の質問	15
4.3	音声入力の操作性と認知負荷に関する実験終了後の質問	15
4.4	危険箇所における危険認知と発話タイミングに関する実験終了後の質問	16
4.5	実験の妥当性に関する実験終了後の質問	16
4.6	危険箇所と発話の時間差の記述統計量	17
4.7	音声入力の操作性と認知負荷（昼間環境, n=30）	19
4.8	実際の発話 vs 音声認識結果	22
4.9	キーワード別の性能指標	22
5.1	音声入力の操作性と認知負荷（夜間環境, n=15）	30
5.2	音声入力の操作性と認知負荷の昼夜比較	31
5.3	発話タイミングの昼夜比較（秒）	32
5.4	夜間環境での発話タイミング（秒）	33
5.5	危険認知時点の昼夜比較（5段階評価）	34
5.6	発話余裕の昼夜比較（5段階評価）	35
5.7	心理的抵抗の昼夜比較（5段階評価）	36
5.8	夜間環境でのキーワード間比較（5段階評価）	36
5.9	没入感の昼夜比較（5段階評価）	37

第 1 章

はじめに

日本では、自転車が日常的な移動手段として広く利用されている。しかしその一方で、自転車に関わる交通事故は深刻な社会課題となっている [1]。昭和 40 年代に自動車の保有台数が急増した結果、自転車と自動車の事故が急増した。これに対する窮余の策として、自転車と自動車を分離する目的で、普通自転車の歩道通行が認められる措置が講じられた [2]。しかし、この措置は逆に自転車と歩行者との事故を増加させ、歩道の安全性を低下させるという新たな問題を生み出した。

この状況を受け、近年では法律が改正され、自転車は原則として車道を走行することが定められた。しかし、多くの幹線道路では交通量が非常に多く、車道走行が自転車利用者にとって極めて危険な状況を生んでいる。実際に自転車の歩道走行（左右問わず）と比較して、車道の左側通行は危険性が 3.0 倍高いという報告も確認されている [3]。また、停車需要の多い路線等の自転車専用通行帯では、通行帯上に停車車両が発生し、自転車はこれら車両を避けて第二通行帯を通行することとなり、自転車通行の安全性が低下している [4]。このように、自転車の走行空間においては「対自動車」「対歩行者」双方の危険性を完全に解消することは困難である。

さらに、近年では健康志向の高まりや環境負荷の低減への貢献といった観点から、国や自治体は自転車の利用を積極的に促進している [5]。このため、「安全性への懸念」と「利用促進の要請」という二つの要素が現代の自転車交通における重要な課題として存在している。

この二つの要素が並存する課題の解決において、既存のナビゲーションアプリケーションは、急な坂やトンネルの有無といった静的な要素を考慮した経路提案は行うものの、自転車通行帯の整備状況、歩行者の混雑度、突発的な障害物の有無といった動的な安全情報をリア

リアルタイムで把握し提供することは困難である。その原因は、主に四つの要因に細分化される。

第一に、リアルタイム性の欠如が挙げられる。VICS やプローブ情報などによる自動車交通のリアルタイムデータ収集は存在するものの [6]、自動車による路上駐車や、歩行者の混雑といった自転車走行に影響する状況は数分から数時間単位で目まぐるしく変化する。これに対し、アプリケーションの地図データ更新は数ヶ月から数年に一度の頻度であり、こうしたリアルタイムの動的変化に対応することができない。

第二に、利用者が感じる主観的な危険が反映されにくい点である。走行者が体感する恐怖や不安といった主観的な危険度は、GPS やセンサーから得られる物理的な数値データのみで捉えることが難しく、既存のアプリケーションはこうした利用者視点の情報を十分に反映していないのが現状である。

第三に、インフラストラクチャそのものの機能不全である。自転車と自動車、歩行者を分離し安全性を確保する目的で自転車専用道路や自転車通行帯の導入が進められているが、日本では自転車通行空間の整備が十分に進んでおらず、特に自転車道や自転車専用通行帯などの専用空間の整備は限定的である [7]。さらに深刻なのは、整備されたインフラが実質的に機能していないという質的な問題である。先述の通り、通行帯の多くが路上駐車によって占拠され、自転車が安全に通行できる空間として役割を果たしていない [4]。これは、自転車の安全確保と、高まる物流需要という社会的な要請が路上で衝突している実態を示している。このため、アプリケーションが正確なインフラ情報に基づいて経路を提案することは極めて困難となっている。

第四に、近年では、CCTV カメラ画像を用いた自動車両識別や画像トラキャンなどのコンピュータビジョン技術を活用したデータ収集が行われている。また、AI 技術を活用した交通量及び速度データの高精度化が進められている [8]。しかし、障害物の発生や歩行者の混雑状況といった自転車走行に影響する動的情報をリアルタイムで広範囲に収集するには、高密度なセンサー網やカメラの設置が不可欠となるが、その導入には高額なコストや、日本の個人情報保護法 [9] に代表されるプライバシー規制への配慮が障壁となり、社会的な実装と

普及が遅れている。実際に、鈴木ら [10] は、既存の自転車ナビゲーションアプリにおいて、個人情報保護の観点から GPS データを検索情報や利用者属性と紐付けさせることが非常に難しく、詳細な通行実態の把握が制限されていることを指摘している

本研究では、利用者の主観的な危険認知と音声認識技術を活用し、自転車走行中の危険箇所をリアルタイムに記録・共有する方式を提案、危険の種類に応じた提案方式の有効性と心理的負荷を評価する。本提案方式で収集された情報を活用して、既存ナビゲーションが提供困難であった動的な安全性を考慮した経路選択を支援し、自転車利用者に対して迂回等の事故防止を促すことを目標とする。

第 2 章

関連研究

2.1 自転車安全運転支援方式に関する研究

久保田ら [11] は、急な段差や未舗装の道などで急ブレーキや転倒といった危険が存在することを受けて、口コミや道路状況を他のユーザーと共有し、注意喚起を行う仕組みを提案している。この研究では、加速度センサーで路面の凹凸を、GPS で位置情報を取得し、さらに利用者の口コミ情報を加えてサーバー上で「危険箇所マップ」を生成する。そして、利用者が危険箇所に接近した際には、画面表示ではなく腕の振動によって触覚的に注意喚起を行う点に特徴がある。しかし、加速度センサーは路面の物理的な凹凸のみを検知するため、道路の狭さや歩行者の混雑といった利用者の主観的な危険認知を捉えることは困難である。また、口コミ入力は事後的な報告であるため、記憶バイアスや入力時の認知負荷という課題が残る。

原田ら [12] は、自転車の危険な挙動認識及び運転記録における、既存の自転車マップが主観的な報告に依存している点や、挙動情報の収集が分類結果の提供に留まるといった具体的な課題という背景を受け、Web 地図を活用した自転車の運転記録システムを提案している。この研究では、スマートフォンに内蔵されている加速度・ジャイロセンサやアクションカメラを用いて危険な挙動と連動した映像の記録機能を備えたシステムを構築する。そして、従来の自転車マップが主観的な報告内容に依存するという課題ではなく、客観的な挙動認識と映像記録を組み合わせることで情報の信頼性を高め、安全支援に役立てるといった目的の達成を行う点に特徴がある。しかし、この手法では急ブレーキや転倒といった物理的な挙動は検知できるが、利用者が「どこで危険を感じたか」という主観的な危険認知のタイミングや位

2.2 移動中における入出力に関する研究

置は記録されない。また、映像記録には他の通行者のプライバシーへの配慮が必要となり、データの共有や活用に制約が生じる。

これらの研究は、センサーによる客観的データの収集と情報の信頼性向上に成功している一方で、利用者の主観的な危険認知をリアルタイムに記録する仕組みは提供していない。

2.2 移動中における入出力に関する研究

Woźniak ら [13] は、自転車走行中のスマートフォン使用による交通事故のリスク増加という背景を受け、サイクリストがハンドルバーから手を離さずにスマートフォンを安全に操作するためのデバイスを提案している。この研究では、ユーザー中心設計プロセスで特定された主要機能に基づき、回転制御式の「Brotate」と3ボタン式の「Tribike」を用いて、二つのプロトタイプを構築する。そして、片手でのスマートフォン操作による認知的負荷の増加や横方向の制御の悪化ではなく、ハンドルバーから手を離さずに操作できることによって交通安全性の向上と効率的なスマートフォン操作を行う点に特徴がある。しかし、この手法では専用のハンドルバー取り付けデバイスが必要となり、機器の導入コストや互換性の問題が生じる。また、ボタン操作は走行中の認知負荷を完全には解消できない。

二村ら [14] は、スマートグラスを用いた自転車ナビゲーションにおける情報提示タイミングを、実走行実験により評価した。交差点から約 16.5m～36.5m 離れた位置が適切と報告している。しかし、この研究では被験者が実際の公道を走行するため、交通事故リスクへの曝露という倫理的課題がある。また、天候や交通量など制御不可能な外的要因により、条件統制が困難である。したがって、自転車走行中の危険認知を実験的に検証するには、被験者の安全を確保しながら条件を厳密に統制できる手法が必要である。

これらの研究から、走行中の情報入力にはハンズフリー操作による安全性の確保、低認知負荷なインタフェース、倫理的に安全かつ条件統制可能な実験環境、という3つの要件が重要であることが示唆される。

2.3 利用者参加型情報記録システムの研究

出世ら [15] は、気象観測における局地的・突発的な現象の把握が困難であるという背景を受け、一般利用者がスマートフォン等を用いて気象状況を報告する「ふるりポ！」システムを提案している。この研究では、ユーザーによる気象現象の主観的報告（例：雨、ひょう、突風など）や写真投稿を用いて、局地的な気象データを収集・可視化する音地図を構築する。そして、従来の定点観測装置による広域的な気象データ取得ではなく、利用者の体験に基づく報告という独自の点によって、気象災害の早期把握と防災意識の向上を行う点に特徴を持つが、自転車の危険情報は対象外である。

Hologa ら [16] は、ドイツのフライブルク市における自転車利用が盛んな一方で、交通事故に占める自転車事故の割合が非常に高いという背景を受け、クラウドソーシングで収集した市民の主観的なハザード知覚（VGI）を用いて、危険なホットスポットを特定し地域計画に貢献するを行うシステムを提案している。この研究では、オープンソースのスマートフォンアプリ「KoBo Toolbox」を用いたデータ収集や走行距離に基づいてデータを六角形グリッドで集計し信頼性を評価する手法を用いて知覚されたハザードの空間的な分布図や、ハザードと道路タイプの関係性を示したデータセットを構築する。そして、事故が起きてから分析する従来の手法ではなく、個人の主観的な知覚（VGI）と客観的な事故データを統合し、市民中心の視点から危険箇所を予防的に特定する点によってサイクリストの安全性を向上させるための地域計画へ貢献するという目的の達成を行うものの、事後的なアンケート調査、リアルタイム記録ではない。

中野ら [17] は、自転車ネットワーク計画の作成に必要な通行実態を効率的に把握するため、スマートフォンアプリ（Bicycle Planner）を開発した。具体的には、被験者自身のスマートフォンに専用アプリをインストールし、GPS 測位により 1 秒間隔で位置情報を記録することで、通行経路、旅行速度、トリップ長を可視化している。弘前市での試験調査（109 人、1,204 トリップ）では、被験者の 8 割以上が「操作が簡単」と評価し、自転車ネットワーク計画への活用可能性を実証したものの、利用者が「出発時」「到着時」に手動操作する必

2.3 利用者参加型情報記録システムの研究

要があり、走行中の即時入力は想定されていない。

これらの研究は、スマートフォンを用いた利用者参加型のデータ収集手法を確立している一方で、自転車利用者が危険を感じた瞬間に即座に記録するリアルタイム性は実現されていない。

第 3 章

提案方式

本研究では、自転車利用者が走行中に遭遇する危険箇所を、音声入力によってリアルタイムに記録・共有する方式を提案する。

本方式の目的は、利用者の主観的な危険認識を即時かつ簡易に収集・蓄積し、他利用者へ提供することで、潜在的な危険の可視化と自転車事故の未然防止に貢献することである。

従来の自転車安全支援システムは、加速度センサーや GPS 等の客観的データに依存しており、利用者が実際に感じる恐怖や不安といった主観的危険を捉えることが困難であった。

また、実走行環境での危険認知に関する実験的研究は、被験者を実際の交通事故リスクに晒すため倫理的に実施困難であり、事後的なアンケート調査では記憶バイアスやリアルタイム性の欠如が避けられない。

本研究では、これらの課題に対して、(1) 音声入力によるハンズフリー記録、(2) シミュレーション環境での実験的検証、という 2 つのアプローチで解決を図る。

提案方式は、以下の 3 つの設計原則に基づいている：

■原則 1：ハンズフリー操作による安全性の確保
自転車走行中にスマートフォンを操作することは、視線の逸脱やハンドルからの手離しを伴い、事故リスクを高める [13]。

音声入力を採用することで、利用者は両手をハンドルに置いたまま、視線を前方に保ったまま、危険情報を記録できる。

■原則 2：主観的危険認知の即時記録
従来の事後調査では、「いつ」「どこで」「何を」危険と感じたかという記憶が曖昧になる。

本方式では、危険を感じた瞬間に発話することで、記憶バイアスを排除し、リアルタイムな危険認知データを収集できる。

■原則 3：低認知負荷な入力インターフェース複雑な操作や長文入力は認知負荷が高く、走行中の実用性を損なう。

本方式では、事前定義された短いキーワード（「狭い」「障害」「いっぱい」）を発話するのみで記録が完了する設計とした。

第 4 章

昼間環境における評価実験

4.1 実験概要

本章では、第 3 章で提案した方式の有効性を検証するため、昼間環境における評価実験（以下、実験 1 とする）を行う。

提案方式は以下の 3 つの設計原則に基づいている：

原則 1 ハンズフリー操作による安全性の確保

原則 2 主観的危険認知の即時記録

原則 3 低認知負荷な入力インターフェース

これらの原則の有効性を検証するため、以下の 4 つの評価項目を設定した。評価項目と設計原則の対応を表 4.1 に示す。

表 4.1 評価項目と設計原則の対応

評価項目	評価内容	原則 1	原則 2	原則 3
音声入力の正確性	音声認識精度の定量評価			○
操作性と認知負荷	走行への集中阻害度、発話容易性などの主観評価	○		○
発話タイミング	危険認知から発話までの時間分析		○	
実験の妥当性	シミュレーション環境への没入感	実験全体の信頼性		

以下、各評価項目の詳細を述べる。

4.2 実験環境

4.1.1 音声入力の正確性

提案方式の根幹技術である音声認識が、指定されたキーワード（「狭い」「障害」「いっぱい」）をどの程度の精度で認識できるかを、認識結果を用いて定量的に評価する。この評価は、原則 3（低認知負荷な入力）の技術的実現可能性を検証するものである。

4.1.2 音声入力の操作性と認知負荷の評価

音声入力操作のスムーズさや、運転への集中阻害の度合いを主観評価する。この評価は、原則 1（ハンズフリー操作）および原則 3（低認知負荷）が実際の走行環境下で機能するかを検証するものである。

4.1.3 危険箇所における危険認知と発話タイミングの評価

利用者が危険を認知し、発話するまでの時間的・心理的プロセスを分析する。この評価は、原則 2（主観的危険認知の即時記録）が実現されているか、すなわち危険を感じた瞬間に遅延なく記録できるかを検証するものである。

4.1.4 実験の妥当性評価

シミュレーション環境への没入感が十分であったかを評価する。この評価は、上記 3 つの評価項目の結果が信頼できるものであるかを確認するものである。

4.2 実験環境

本実験は倫理的配慮および安全性を考慮し、物理的危険を伴わない室内シミュレーション環境で実施した。仮想の走行環境は、ゲームエンジン Unreal Engine 5[18] を用いて構築し、被験者の前方に設置した大型ディスプレイに一人称視点の走行動画を投影した。被験者は床に固定された自転車に乗り、仮想走行速度を 11.5km/h に設定し、動画の進行に合わせてペ

4.3 実験条件

ダルを漕ぐことで、高い没入感を得られるように設計した。また、音声入力には襟元に装着したワイヤレスマイクを使用し、ライブラリ PyAudio[19] を介して音声を取得した。音声認識エンジンには VoskSpeechRecognitionToolkit[20] を用い、認識モデルには日本語軽量モデルである vosk-model-small-ja-0.22[21] を適用した。実験中には車の走行音を再生し、実験中の環境騒音を測定した結果、平均 52.8 dBA（範囲 42.4 dBA ～ 63.9 dBA）であった。実験の様子を図 4.1 に示す。



図 4.1 実験 1 の様子

4.3 実験条件

4.3.1 被験者

被験者は 30 名であり、その属性は以下の通りである。

- 年齢：平均 21 歳（標準偏差 2.9 歳, 範囲 18～30 歳）
- 男性 26 名 (86.7%), 女性 4 名 (13.3%)
- 主な自転車利用目的（複数回答可）：「買い物などの日常の用事」が 21 名 (70.0%), 「通

4.3 実験条件

勤・通学」が 18 名 (60.0%) であった。

- 「月に 1 回未満」が 11 名 (36.7%) と最も多く、次いで「週に 6, 7 回」が 8 名 (26.7%) であった。

4.3.2 危険箇所

走行動画内には、以下の 3 種類の危険箇所を実験条件として設定した。これらは自転車走行中に遭遇しうる危険場面を想定している。各危険箇所の配置を図 4.2, 4.3, 4.4 に示す。

- 狭路: 自転車通行帯がなく、道路幅が狭い状況
発話キーワード: 「狭い」
- 障害物: 自転車通行帯に静止する路上駐車
発話キーワード: 「障害」
- 密集: 複数の歩行者 (同一座標上で歩行)
発話キーワード: 「いっぱい」

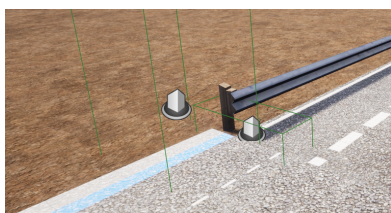


図 4.2 狭路

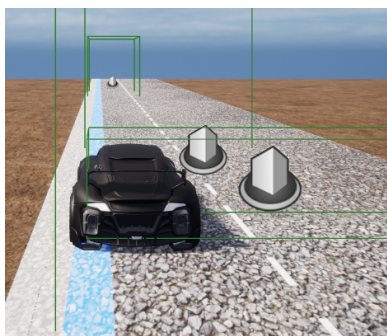


図 4.3 障害物



図 4.4 密集

4.3.3 実験の流れ

実験は以下の流れで実施した。

4.3 実験条件

1. 準備

被験者に実験概要を説明し、同意を得る。

ワイヤレスマイクを襟元に装着し、自転車のサドルの高さを調整した。

2. 練習試行

本番と同様の試行を 1 回実施

3. 本番試行

被験者は走行動画の再生に合わせてペダルを漕ぐ。被験者自身が危険を感じたまたは、記録したいと感じた際に、指定されたキーワード（「狭い」「障害」「いっぱい」のいずれか）を発話する。音声認識の結果が定義されたキーワードに分類されると「ピ」という効果音が再生される。危険箇所を通過後、ディスプレイに質問が表示される。ここでの質問の内容を表 4.2 に示す。被験者は自転車ハンドルに設置されたボタンで回答する。1 つの危険箇所につき 3 回、合計 9 試行を繰り返した。

4. 事後評価

すべての試行終了後、追加の質問及びヒアリングを実施した。質問の内容を表 4.3,4.4,4.5 に示す。

また、被験者は、順序効果の影響を抑えるため、ランダムに 3 つのグループに均等に分けて実験を行った。各グループは危険箇所の提示順序を以下のように設定した。

- グループ 1：狭路 → 障害物 → 密集 → 狭路 → 障害物 …
- グループ 2：密集 → 障害物 → 狭路 → 密集 → 障害物 …
- グループ 3：障害物 → 密集 → 狭路 → 障害物 → 密集 …

4.3 実験条件

表 4.2 実験中の質問

質問番号	質問内容	評価 (1 ⇔ 5)
Q1	この危険箇所での音声入力はスムーズに行えましたか？	スムーズではなかった ⇔ スムーズであった
Q2	音声入力によって走行への集中が妨げられましたか？	妨げられた ⇔ 妨げられなかった

表 4.3 音声入力の操作性と認知負荷に関する実験終了後の質問

質問番号	質問内容	評価 (1 ⇔ 5)
Q1	今回使用したキーワード『狭い』『障害』『いっぱい』について、危険場面で発話する際の心理的な抵抗や難しさはどの程度でしたか？ <ul style="list-style-type: none"> ● 狭い ● 障害 ● いっぱい 	話しにくかった ⇔ 話しやすかった

4.3 実験条件

表 4.4 危険箇所における危険認知と発話タイミングに関する実験終了後の質問

質問番号	質問内容	評価 (1 ⇔ 5)
Q1	<p>あなたは、各危険場 面に対して、どのく らい前から“危険だ” と感じていました か？</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 狭い ● 障害 ● いっぱい 	直前まで気づかなかった ⇔ 早い段階で気づいていた
Q2	<p>各危険場面で、音声 入力を行ったタイミ ングは、ご自身の感 覚ではどのくらい余 裕がありましたか？</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 狭路 ● 障害物 ● 密集 	余裕がなかった ⇔ 余裕があった

表 4.5 実験の妥当性に関する実験終了後の質問

質問番号	質問内容	評価 (1 ⇔ 5)
Q1	シミュレーターを介した自転車走行体験について、没入感をどの程度感じましたか？	感じなかった ⇔ 感じた

4.4 結果

4.4 結果

本章では、実験から得られた客観的データと主観評価アンケートの結果について述べる。

4.4.1 発話開始と危険箇所通過時との時間差分

被験者が各危険箇所を通過した時刻と、キーワードを発話した時刻の差を分析した。表 4.6 に記述統計量，図 4.5 に箱ひげ図を示す。

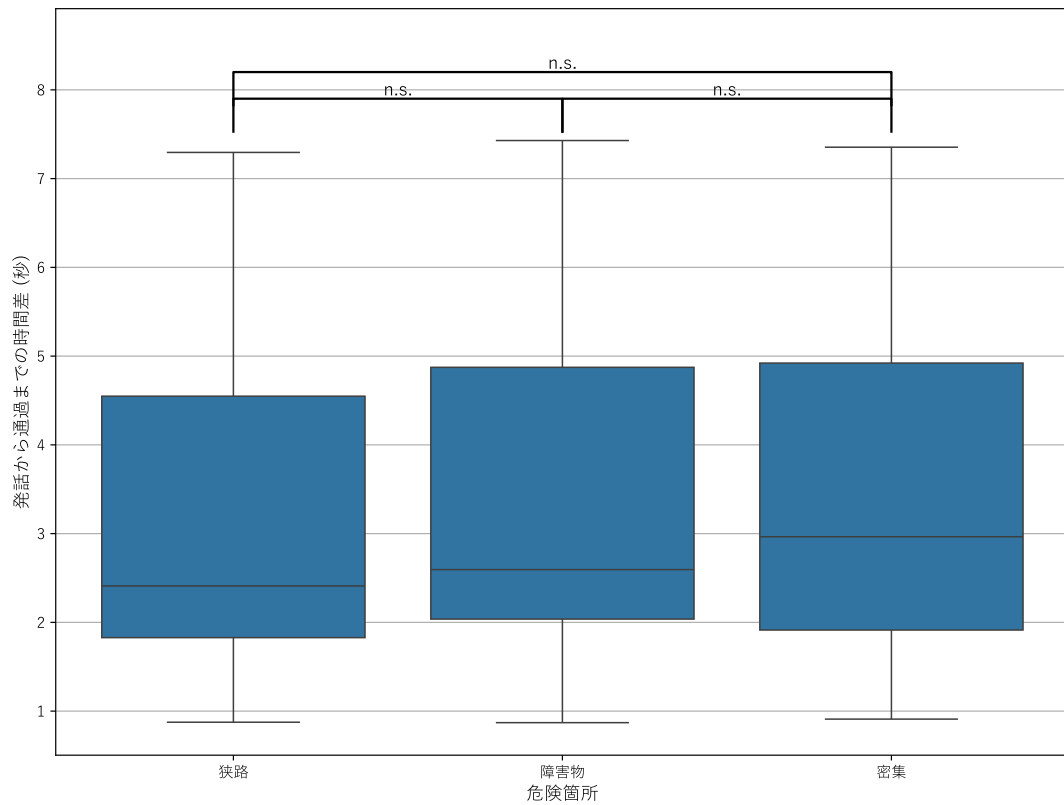
表 4.6 危険箇所と発話の時間差の記述統計量

危険場面	平均値 (秒)	標準偏差 (秒)
障害	3.23	2.48
狭い	3.05	2.46
いっぱい	3.23	2.51

3つの危険場面における平均時間差は、障害物が3.23秒、狭いが3.05秒、密集が3.23秒であった。これらの時間差に対してフリードマン検定を行った結果、3条件間に統計的に有意な差は認められなかった ($\chi^2(2) = 4.22, p = .121$)。このことから、危険の種類によらず、被験者が危険を認識してから実際に発話するまでの反応時間には大きな差異がないことが示唆された。

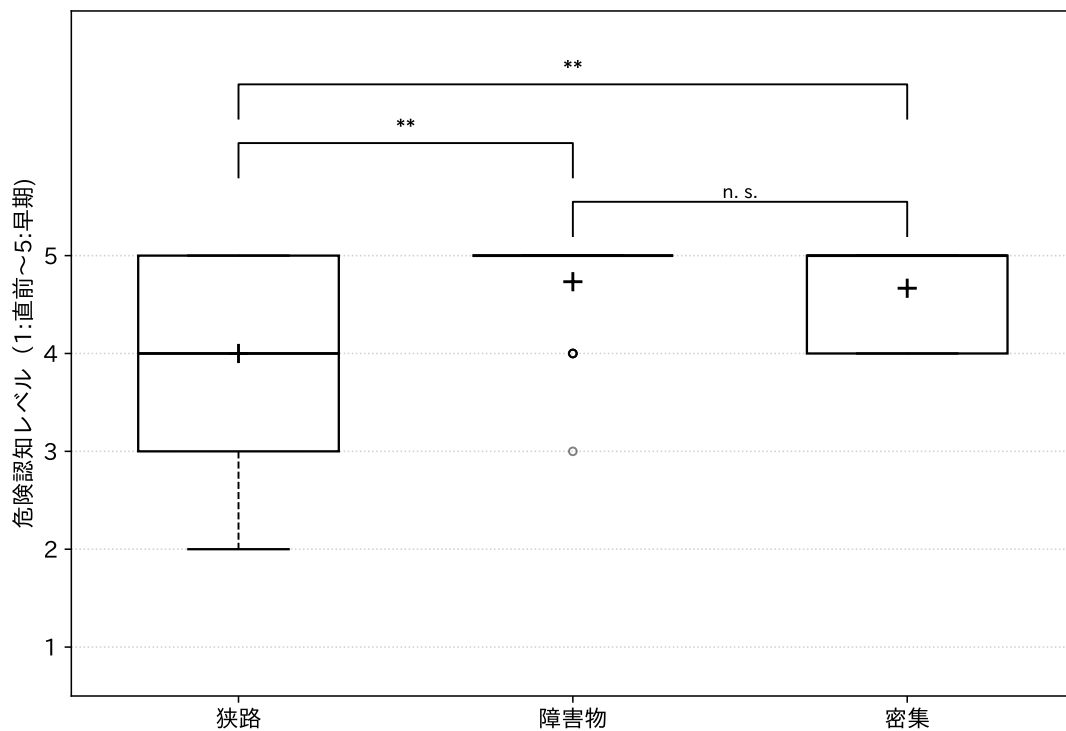
表 4.4, Q1 に対する回答を分析した。図 4.6 に危険認知時点の箱ひげ図を示す。平均評価値は、障害物が4.73、いっぱいが4.67であったのに対し、狭いが4.00という低い値を示した。多重比較 (Bonferroni 補正) の結果、狭いは障害物 ($p < .01$) および、いっぱい ($p < .01$) と比較して有意に評価値が低く、被験者は狭路において、他の2場面よりも危険を認知するタイミングが遅い (直前で気づく) ことが示された。

4.4 結果



注:フリードマン検定を実施後,多重比較(ウィルコクソンの符号順位検定+Bonferroni補正)を実施.
有意水準を $\alpha = 0.05$ として検定を実施。** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, n. s. : $P \geq 0.05$ を示す。

図 4.5 危険場面別の発話タイミング(箱ひげ図)



注: 箱内の太線は中央値, 「+」は平均値を示す. エラーバーは最大・最小値(外れ値を除く).
検定: フリードマン検定後, ウィルコクソンの符号順位検定(Bonferroni補正).
有意水準: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, n. s. : $P \geq 0.05$.

図 4.6 危険場面別の危険認知時点(箱ひげ図)

4.4 結果

表 4.4, Q2 に対する回答を分析した。平均評価値は、密集が 4.13, 障害物が 4.03, 狭路が 3.90 となり, 狭路で最も余裕がなかったと感じる傾向が見られた。しかし, フリドマン検定の結果, 3 条件間に統計的に有意な差は認められなかった ($\chi^2(2) = 3.70, p=.157$)。

4.4.2 操作性と認知負荷の汎用性

本節では, 提案方式の操作性と認知負荷の汎用性について, アンケート結果を基に分析する。

実験中のアンケートにより, 操作のスムーズさおよび走行への集中度を評価した。

表 4.7, Q1 において, 3 つの危険場面間に統計的有意差は認められなかった (フリドマン検定: $\chi^2(2) = 4.55, p = .103$)。平均評価値 (標準偏差) は, 狭路 4.31 (SD 1.06), 障害物 4.23 (SD 1.05), 密集 4.54 (SD 0.74) であり, いずれの条件も 5 段階評価において 4 以上の高い評価を得た。

また, 表 4.7, Q2 においても, 3 条件間に統計的な有意差は認められなかった ($\chi^2(2) = 1.09, p = .580$)。この結果から, 危険箇所の種類に関わらず, 提案方式による音声入力が行への集中を阻害しないことが示された。

表 4.7 音声入力の操作性と認知負荷 (昼間環境, n=30)

質問	狭路	障害物	密集	p 値
Q1: スムーズさ	4.31 ± 1.06	4.23 ± 1.05	4.54 ± 0.74	0.103
Q2: 集中阻害度	4.44 ± 0.88	4.29 ± 1.08	4.30 ± 1.09	0.580

4.4.3 キーワードの発話容易性及び心理的抵抗

本節では, 利用者が発話する際の心理的な側面について, アンケート結果を基に分析する。

事後アンケートから, キーワードそのものの話しやすさについて分析した。「キーワードを発話する際の心理的な抵抗や難しさはどの程度でしたか?」という質問の結果, 3 つのキーワード間に統計的に有意な差が認められた (フリドマン検定, $\chi^2(2) = 13.63, p=.001$)。

4.4 結果

平均評価値は、狭いが 4.53 と最も高く、障害 (3.70), いっぱい (3.87) がそれに続いた。多重比較の結果, 狭」と障害 ($p = .003$), 狭いといっぱい ($p = .045$) の評価間に, それぞれ統計的に有意な差が認められた。平均評価値から, 「狭い」は他の 2 つのキーワードよりも心理的抵抗が低いと評価されたことがわかる。障害といっぱいの間には有意な差は認められなかった。

4.4.4 実験環境に対する没入感

表 4,Q1 の質問に対して, 平均値 3.4, 標準偏差 0.89 となり, 参加者の過半数が一定の没入感を得ていた。被験者からのヒアリングの結果, 没入感の形成, 阻害要因は以下の通りである。

- 促進要因: 一人称視点の映像表現や視覚的リアリティに加え, 映像速度に合わせた無意識なペダリング動作が確認された。
- 阻害要因: ハンドル・ブレーキの操作感の乖離, 漕ぎ量と速度の不一致といった物理的フィードバックの不足, および背景映像の簡素さが指摘された。

4.4.5 音声入力の有効性と音声認識精度

評価指標の定義

本節では, 提案システムの性能を 2 つの観点から評価する。

(1) 音声入力の有効性

正しい危険場面において, 音声入力により対応する正しいキーワードが記録された割合。これはユーザーの発話行動と音声認識精度の両方を含む, 提案方式全体の実用性を示す指標である。

$$\text{音声入力の有効性} = \frac{\text{正しい場面で正しいキーワードが記録された件数}}{\text{全試行数}} \quad (4.1)$$

4.4 結果

(2) 音声認識の技術的精度

ユーザーが実際に発話した内容を、音声認識エンジンが正しく認識できた割合。環境音の誤認識（ユーザーが発話していない場合）は除外して評価する。

$$\text{音声認識精度} = \frac{\text{発話内容と認識結果が一致した件数}}{\text{発話があった件数}} \quad (4.2)$$

評価方法

全 302 件の実験データについて、被験者が実際に発話した内容を音声データから確認し、以下の 4 つのカテゴリに分類した：

- **狭い**：狭路を示すキーワード
- **障害**：障害物を示すキーワード
- **いっぱい**：歩行者密集を示すキーワード
- **環境音等**：発話なし、フィラー（「えーっと」等）

音声認識結果と実際の発話内容を照合することで、音声認識の技術的精度を算出した。

評価結果

(1) 音声入力の有効性

提案方式により、被験者は **84.1%の確率で危険箇所を正しく記録できた**（302 試行中 254 回成功）。これは実用的な水準であり、提案方式の有効性が示された。

(2) 音声認識の技術的精度

ユーザーが実際に発話した場合（環境音を除く 273 件）、音声認識エンジンは **93.0%の精度で正しく認識できた**（273 件中 254 件成功）。

(3) 混同行列

表 4.8 に、実際の発話と音声認識結果の混同行列を示す。対角成分の合計（正しく認識）

4.4 結果

は 278 件であり、全体精度は 92.1%であった。

表 4.8 実際の発話 vs 音声認識結果

	狭い	障害	いっぱい	環境音等
狭い	87	0	0	5
障害	7	80	1	1
いっぱい	1	0	87	4
環境音等	5	0	0	24

(4) 詳細な性能指標

各キーワードの性能指標を表 4.9 に示す。

表 4.9 キーワード別の性能指標

キーワード	Precision	Recall	F1-score	Support
狭い	0.870	0.946	0.906	92
障害	1.000	0.899	0.947	89
いっぱい	0.989	0.946	0.967	92

「狭い」クラス

正解 92 件のうち 87 件 (94.6%) が正しく認識された。Precision 0.870 は、認識結果が「狭い」の場合に 87.0%の確率で実際に「狭い」と発話されていたことを示す。5 件が認識失敗（環境音等）に誤分類された。

「障害」クラス

正解 89 件のうち 80 件 (89.9%) が正しく認識された。Precision 1.000 は、認識結果が「障害」の場合に 100%の確率で実際に「障害」と発話されていたことを示す。7 件が「狭い」に誤分類されており、これは音韻的類似性の影響と考えられる。

「いっぱい」クラス

正解 92 件のうち 87 件 (94.6%) が正しく認識された。Precision 0.989, Recall 0.946 と最も高い値を示し、F1-score 0.967 と 3 つのキーワードの中で最も安定した認識性能を示

4.4 結果

した.

誤り原因の分析

音声入力の有効性が 84.1%にとどまった原因を分析した結果, 全 48 件の失敗のうち:

- **環境音誤認識**: 28 件 (58.3%)
 - ユーザーが発話していないのに誤認識
 - 改善策: VAD (Voice Activity Detection) の導入
- **音声認識誤り**: 18 件 (37.5%)
 - ユーザーは正しく発話したが誤認識
 - 改善策: レーベンシュタイン距離閾値の最適化
- **ユーザー誤発話**: 2 件 (4.2%)
 - ユーザーが誤ったキーワードを発話

主な課題は環境音誤認識であり, VAD を導入することで音声入力の有効性を約 94%まで向上できる可能性がある.

場面別の成功率

3 つの危険場面における音声入力の成功率を比較した結果, 狭路 (84.5%), 障害物 (80.0%), 密集 (87.9%) であり, 場面間で一定の成功率が維持されていることが確認された.

4.5 考察

4.5.1 発話タイミングと危険対象の性質

危険箇所通過時刻との差分において、3つの危険場面間に統計的有意差は認められなかった。しかし、主観評価では障害物・歩行者の方が狭路より有意に早期に危険認知されていた。この乖離は、危険対象の「性質」の違いに起因すると考えられる。障害物・歩行者は、道路上の特定の位置に存在する離散的な対象であり、遠方からでも視認できる。そのため、被験者は早い段階で危険の存在を認識していたと報告した（主観評価で障害物 4.73、いっぱい 4.67）。一方、狭路は道路全体の連続的な状態であり、実際に進入する直前まで通過可能性を正確に判断できない。そのため、主観的には「直前で気づいた」と報告された（評価値 4.00）と考えられる。しかし、実際の発話行動（客観的データ）は、「今、回避行動が必要」という判断の時点で生じる。この行動トリガーは危険対象の種類によらずほぼ同じタイミング（危険箇所の約3秒前）で発生したため、客観的発話タイミングに差が生じなかったと推察される。すなわち危険認知は、「早期の視覚的検出」と「行動を開始すべき判断時点」という二段階の過程として解釈できる。これは、知覚→認知→判断→反応という運転行動の情報処理モデル [22] と整合的である。障害物・歩行者は離散的対象として早期に知覚される一方、狭路は連続的な状態として判断に接近を要する可能性があるが、行動開始の判断タイミングは本実験条件下では危険の種類によらず概ね共通（約3秒前）であったことが示唆される。

4.5.2 操作性と認知負荷の汎用性

実験中のアンケート結果（表 4.1, Q1, Q2）から、音声入力の操作性および認知負荷について、3つの危険箇所間で統計的に有意な差は認められなかった。このことは、危険箇所の種類によって音声入力の操作性が悪化したり、走行への集中が特に阻害されたりするわけではないことを示しており、提案方式がある程度の汎用性を持つことを示唆している。この結果の背景として、以下の2つの要因が考えられる。第一に、日常の自転車運転において被験者が会話をする機会に慣れていたことが、音声入力操作への違和感を軽減した可能性がある。

4.5 考察

る。第二に、本実験は管理されたシミュレータ環境で実施されており、実環境と比較して予測不能な要素（対向車、歩行者の突発的な動き等）が少なく、全体的な認知負荷が低く保たれていた可能性が高い。したがって、実環境における提案方式の認知負荷については、より複雑な交通状況下での検証が必要である。

4.5.3 キーワードの発話しやすさと心理的抵抗

事後アンケート結果（表 4.2, Q3）から、3つのキーワード間で「話しやすさ」に統計的に有意な差が認められた。「狭い」が最も話しやすく（平均 4.53）、「障害」（平均 3.70）、「いっぱい」（平均 3.87）がそれに続いた。ヒアリングからは、「『障害』は日常で使用しないため咄嗟に発話しにくい」「『狭い』は日常的で言いやすい」といった意見が多く得られた。これらの評価の差異は、以下の言語的特性に起因すると考えられる。

「狭い」：形容詞であり、「狭い道」「部屋が狭い」など日常会話で頻繁に用いられる。危険対象の「状態」を直接的に表現するため、利用者は自身の状況認識と直結させて発話しやすいと推察される。

「障害」：名詞であり、法律や専門的な文脈で用いられることが多く、口語的な表現としてはやや硬い印象を与える。このため、発話への心理的抵抗が高まったと考えられる。

「いっぱい」：副詞であり、歩行者の存在を認識した上で、その「量」や「程度」を表現するという点で、わずかな認知的ステップが加わったと推察される。

注目すべき点は、キーワードの「話しやすさ」と客観的な発話タイミング（表 4.6）との間に有意な相関が認められなかったことである。最も話しやすいと評価された「狭い」においても、平均反応時間は他と同等であった。この結果は、危険回避という本能的な行動が、単語の言いやすさという認知的ハードルを上回ることを示唆している。言い換えれば、利用者は心理的に「言いづらい」と感じていても、危険を認識した場合にはそのキーワードで報告を試みることが分かる。一方で、緊急時に心理的抵抗の大きいキーワードを強制すると、発話の躊躇や失敗、誤報の増加、情報の不正確さ、発話遅延による危険回避行動の遅れ、利用者の認知負荷や心理的ストレスの増大を招く可能性がある。これらの影響はシステムの利

4.5 考察

ユーザー体験や安全性に直接的な悪影響を及ぼすことが懸念される。したがって、キーワード選定においては、意味的理解のしやすさに加え、発話の容易さ、日常性、緊急時の心理的負担といった認知・心理的側面も慎重に考慮する必要がある。具体的には、日常的で、状況を直感的に表現できる形容詞のような単語が適していると推察される。

4.5.4 音声入力の有効性と音声認識精度

実験結果より、音声入力失敗の過半数（58.3%）が環境音の誤認識に起因していることが明らかとなった。これは、本実験システムが VAD（Voice Activity Detection）を用いず、マイク入力を常時認識させるベースライン構成であったため、走行音や風切り音を言語として過剰に解釈した結果である。本来、ハンズフリー入力は自転車走行中の視覚的・身体的負荷を低減し、安全性を向上させることを目的としている。しかし、環境音による誤検知や認識失敗が頻発した場合、ユーザはシステムの状態確認や再発話といった余分な操作を余儀なくされる。このような操作負担の増加は、運転に対するユーザの注意力を削ぎ、安全支援という本来の目的を損なう事態を招くリスクがある。したがって、実環境での運用においては、前処理として VAD を導入し、有声音区間のみを認識エンジンに渡すことで、ノイズ誤認識を確実に排除することが不可欠である。キーワード別の精度表 4.9 に着目すると、「いっぱい」は F1-score 0.967 と極めて高い安定性を示した。一方、「障害」は Recall が 0.899 と他の語に比べて低く、混同行列からは「障害」と発話したにもかかわらず「狭い」と誤認識される事例が 7 件確認された。これは、「Shougai（障害）」と「Semai（狭い）」という音韻的な特徴の一部が類似していることに加え、判定に用いたレーベンシュタイン距離の許容閾値（Threshold=2）が、文字数の少ない単語に対しては広すぎたことが要因として考えられる。今後の改善策として、文字数が少ない場合は閾値を 1 にするなど等、キーワードの文字数に応じて距離の閾値を動的に厳格化する手法や、音素レベルでのマッチング導入が有効であると考えられる。

場面別の成功率比較においては、最大差が 7.9 ポイント（障害物 80.0% vs 密集 87.9%）に留まっており、特定の危険状況下で著しく性能が劣化する傾向は見られなかった。これよ

4.5 考察

り、提案方式は多様な視覚的状况下においても、一定の音声認識性能を維持できる堅牢性を有していると結論付けられる。

4.5.5 実験環境に対する没入感

実験環境の没入感は平均 3.4 ($SD = 0.89$) と中程度の水準を示した。ヒアリング調査から、一人称視点の映像表現が没入感を促進した一方、ハンドル・ブレーキ操作の制約や速度制御の固定性が違和感を生じさせたことが明らかとなった。

被験者が映像速度に合わせて無意識にペダリングを調整していた点において、システムが提示する視覚情報に対して被験者が適応的な運動制御を行っていたことを示しており、本シミュレータが実走行に近い身体的・感覚的なリアリティを一定程度確保できていたことを示唆している。

一方、シミュレータ特有の「物理的リスク（衝突の恐怖感）の欠如」は、本研究の重要な限界である。実環境では物理的リスクの存在により危険認知の閾値が変化し、発話行動に影響を与える可能性がある。ヒアリング調査でも「現実ではもっと早めに発話する」との指摘があった。

したがって、本実験で得られた行動データがどこまで実走行時に転用できるかについては、交通が遮断された安全な空間での実走行実験など、段階的な検証が今後の課題である。

第 5 章

夜間環境における評価実験

5.1 実験概要

本章では、視覚情報が制限される夜間環境における評価実験（以下、実験 2 とする）を行う。実験 2 では、提案方式の有効性が夜間でも維持されるか、また実験 1 と比較して被験者の挙動にどのような差異が生じるかを明らかにすることを目的とする。

5.1.1 実験環境

実験環境の基本構成（ディスプレイ投影、自転車シミュレーター、音声入力・認識システム、音響環境）は実験 1 と同一である。

夜間環境の再現のため、以下の照度設定を行った：

- 自動露出（Auto Exposure）を無効化
- Directional Light の回転調整により太陽を地平線下に配置
- Post Process Volume の露出補正（Exposure Compensation）を-2.0 に設定
- 街灯を模した Point Light（Intensity: 100000.0, Attenuation Radius: 1000.0, Color Temperature: 6500K）を 30m 間隔で道路沿いに配置し、夜間の人工照明を再現
- 自車の前照灯（ヘッドライト）
道路交規規則に準拠した仮想的な前照灯を点灯
前方 10 m の視認性が確保される照射範囲を設定

実験室の照明を消灯し、照度計で測定したところ、実験環境の照度は 0lux であった。これ

5.2 実験条件

により、被験者はディスプレイに投影される仮想環境の映像のみを視覚情報として利用する条件となった。また、実験の様子を図 5.1 に示す。

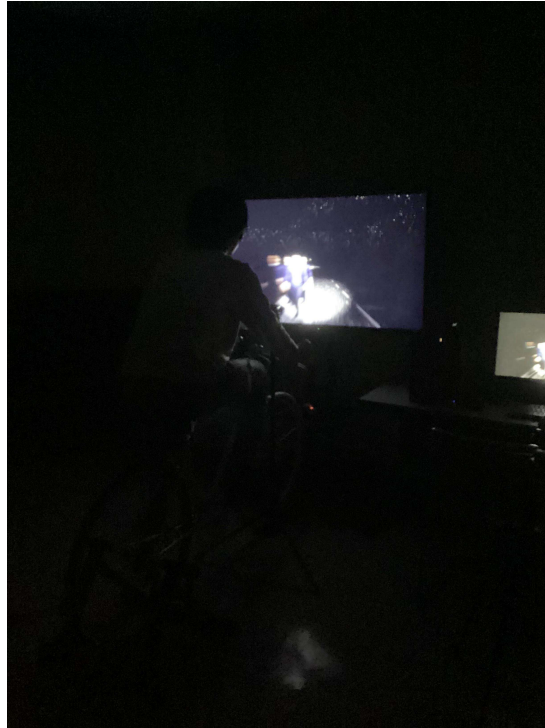


図 5.1 実験 2 の様子

5.2 実験条件

5.2.1 被験者

実験 2 の被験者は、実験 1 の参加者 30 名のうち、再実験への協力が可能であった 15 名であり、被験者の基本属性は以下に示す。

- 年齢：平均 21 歳（標準偏差 2.9 歳, 範囲 18～30 歳）
- 男性 13 名 (86.7%), 女性 2 名 (13.3%)
- 主な自転車利用目的（複数回答可）：「買い物などの日常の用事」が 12 名 (80.0%), 「通勤・通学」が 9 名 (60.0%) であった。

5.3 結果

- 「月に1回未満」が6名(40.0%)と最も多く、次いで「週に6,7回」が3名(20.0%)であった。

危険箇所の種類(狭路, 障害物, 密集), 発話キーワード, 試行回数(練習1回+本番9回), 順序効果への配慮(3グループ)についても実験1と同一の条件で実施した。

唯一の違いは, 走行動画が夜間環境で撮影されている点である。各危険箇所の夜間環境における様子を図5.2, 5.3, 5.4に示す。



図 5.2 狭路

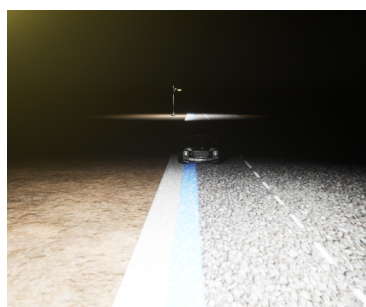


図 5.3 障害物



図 5.4 密集

5.3 結果

5.3.1 操作性と認知負荷の汎用性の比較

表 5.1 音声入力の操作性と認知負荷(夜間環境, n=15)

質問	狭路	障害物	密集	p 値
Q1: スムーズさ	4.04 ± 0.72	4.56 ± 0.61	4.38 ± 0.62	0.032*
Q2: 集中阻害度	4.51 ± 0.69	4.51 ± 0.66	4.58 ± 0.75	0.516

* 多重比較(Bonferroni 補正)では全ペアで有意差なし

音声入力の操作性(Q1)および走行への集中阻害度(Q2)について昼夜比較を行った*1。

*1 実験2参加者15名は実験1にも参加しているが,一部のデータに重複回答が含まれていたため,対応関係を保証できないデータが存在した。そのため,独立2群の比較としてMann-Whitney U検定を実施した。

5.3 結果

結果を表 5.2 に示す。

操作性 (Q1) では、狭路 (昼間 4.42 ± 0.72 , 夜間 4.04 ± 0.98 , $p = .064$) , 障害物 (昼間 4.51 ± 0.87 , 夜間 4.57 ± 0.70 , $p = .921$) , 密集 (昼間 4.47 ± 0.89 , 夜間 4.38 ± 0.81 , $p = .320$) のいずれにおいても統計的有意差は認められなかった (Mann-Whitney U 検定)。

走行への集中阻害度 (Q2) においても、狭路 (昼間 4.78 ± 0.42 , 夜間 4.51 ± 0.69 , $p = .052$) , 障害物 (昼間 4.61 ± 0.81 , 夜間 4.51 ± 0.66 , $p = .171$) , 密集 (昼間 4.61 ± 0.86 , 夜間 4.58 ± 0.75 , $p = .428$) のいずれにおいても統計的有意差は認められなかった。

これらの結果は、照度条件が音声入力の操作性および認知負荷に影響しないことを示している。

表 5.2 音声入力の操作性と認知負荷の昼夜比較

質問	危険箇所	昼間	夜間	p 値
Q1: 操作性	狭路	4.42 ± 0.72 (45)	4.04 ± 0.98 (45)	.064
	障害物	4.51 ± 0.87 (45)	4.57 ± 0.70 (44)	.921
	密集	4.47 ± 0.89 (45)	4.38 ± 0.81 (45)	.320
Q2: 集中阻害度	狭路	4.78 ± 0.42 (45)	4.51 ± 0.69 (45)	.052
	障害物	4.61 ± 0.81 (44)	4.51 ± 0.66 (45)	.171
	密集	4.61 ± 0.86 (46)	4.58 ± 0.75 (45)	.428

Mann-Whitney U 検定, 括弧内はサンプルサイズ

5.3.2 発話タイミングに関する比較

危険箇所通過時刻との時間差分

実験 2 に参加した 15 名について、実験 1 と実験 2 の発話タイミングを比較した。すなわち、表 5.3 の「昼間」は実験 1 で取得したデータ、「夜間」は実験 2 で取得したデータを指す。同一被験者による対応のあるデータであるため、対応のある t 検定を用いて分析した。

5.3 結果

表 5.3 に記述統計量，図 5.5 に箱ひげ図を示す。

表 5.3 発話タイミングの昼夜比較 (秒)

危険箇所	昼間 ($n = 15$)	夜間 ($n = 15$)	p 値
狭路	3.93 ± 2.65 (3.97)	2.94 ± 2.26 (2.77)	0.1149
障害物	3.90 ± 2.68 (3.92)	4.00 ± 2.43 (5.14)	0.8753
密集	4.03 ± 2.61 (4.42)	3.08 ± 1.91 (2.94)	0.1084

平均値 \pm 標準偏差 (中央値) で表示

3つの危険箇所すべてにおいて，昼間環境と夜間環境の発話タイミングに統計的有意差は認められなかった ($p < .05$) .

このことから，照度条件の違いは発話タイミングに大きな影響を与えないことが示唆された。

5.3 結果

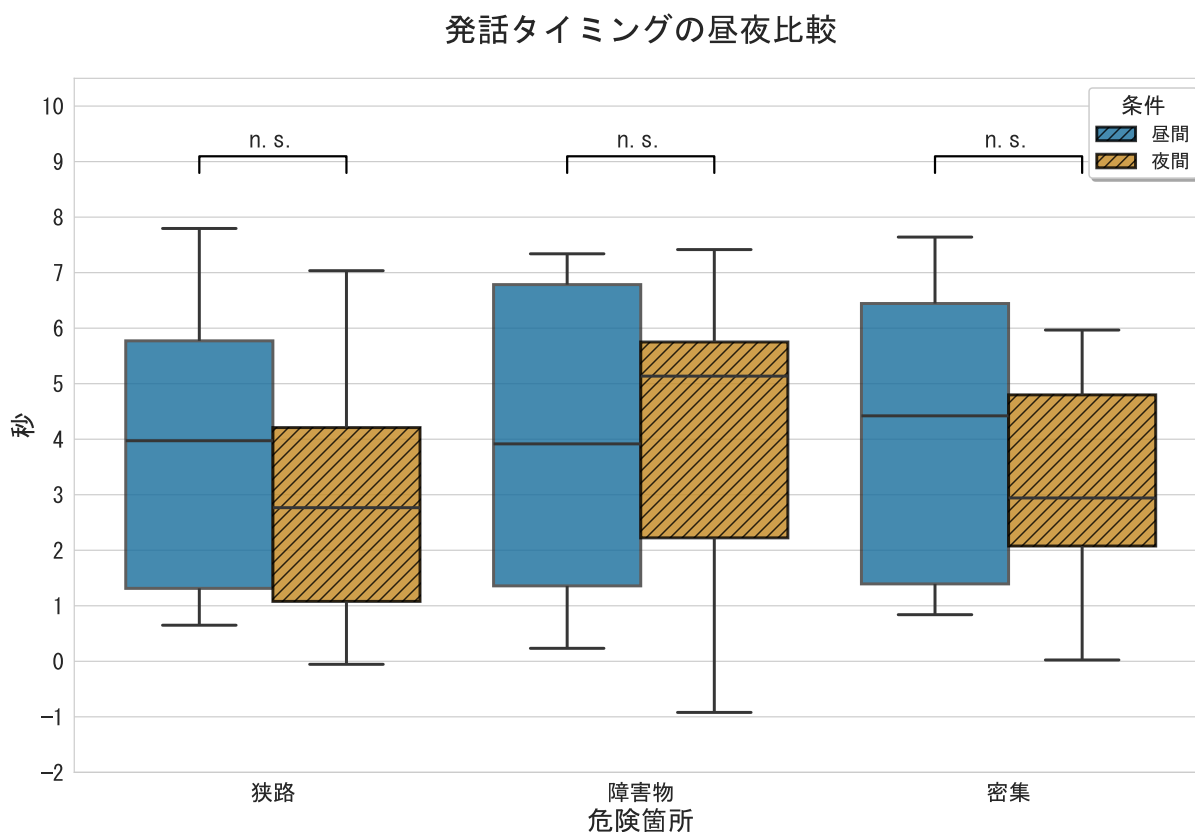


図 5.5 発話タイミングの昼夜比較の箱ひげ図

夜間環境内での危険箇所間比較

表 5.4 に夜間環境での各危険箇所における発話タイミングの結果を示す。

表 5.4 夜間環境での発話タイミング (秒)

危険箇所	平均 ± 標準偏差	中央値	範囲
狭路	2.94 ± 2.26	2.77	-0.05 ~ 7.04
障害物	4.00 ± 2.43	5.14	-0.92 ~ 7.42
密集	3.08 ± 1.91	2.94	0.02 ~ 5.97

フリードマン検定の結果、3 条件間に統計的有意差が認められた ($\chi^2(2) = 8.13, p = .0171$) .

5.3 結果

多重比較（Bonferroni 補正）の結果を以下に示す。

- 密集 vs 障害物： $p = .0128$ （有意差あり）
- 狭路 vs 障害物： $p = .0542$ （有意差なし）
- 狭路 vs 密集： $p = 1.000$ （有意差なし）

障害物に対する先行時間が密集よりも有意に長かった。すなわち、障害物ではより遠い地点から発話が行われていた。これは、昼間環境（表 4.6）では見られなかった傾向である。

危険認知時点の比較

被験者が各危険箇所を「どのくらい前から危険だと感じていたか」について、昼夜で比較した結果を表 5.5、図 5.6 に示す。

表 5.5 危険認知時点の昼夜比較（5 段階評価）

危険箇所	昼間 ($n = 15$)	夜間 ($n = 15$)	p 値
狭路	3.93 ± 0.80	3.27 ± 1.19	0.0210*
障害物	4.47 ± 0.64	4.53 ± 0.64	0.8608
密集	4.93 ± 0.26	4.27 ± 0.70	0.0129*

* $p < .05$ （Wilcoxon 符号付き順位検定）

狭路および密集において、夜間環境では昼間環境と比較して有意に危険認知が遅れた（狭路： $p = .0210$ ，密集： $p = .0129$ ）。一方、障害物では有意差が認められなかった（ $p = .8608$ ）。

この結果は、照度低下が視認性を要する危険（狭路・密集）の早期認知を困難にする一方、比較的視認しやすいオブジェクト（障害物）への影響は限定的であることを示唆している。

5.3 結果

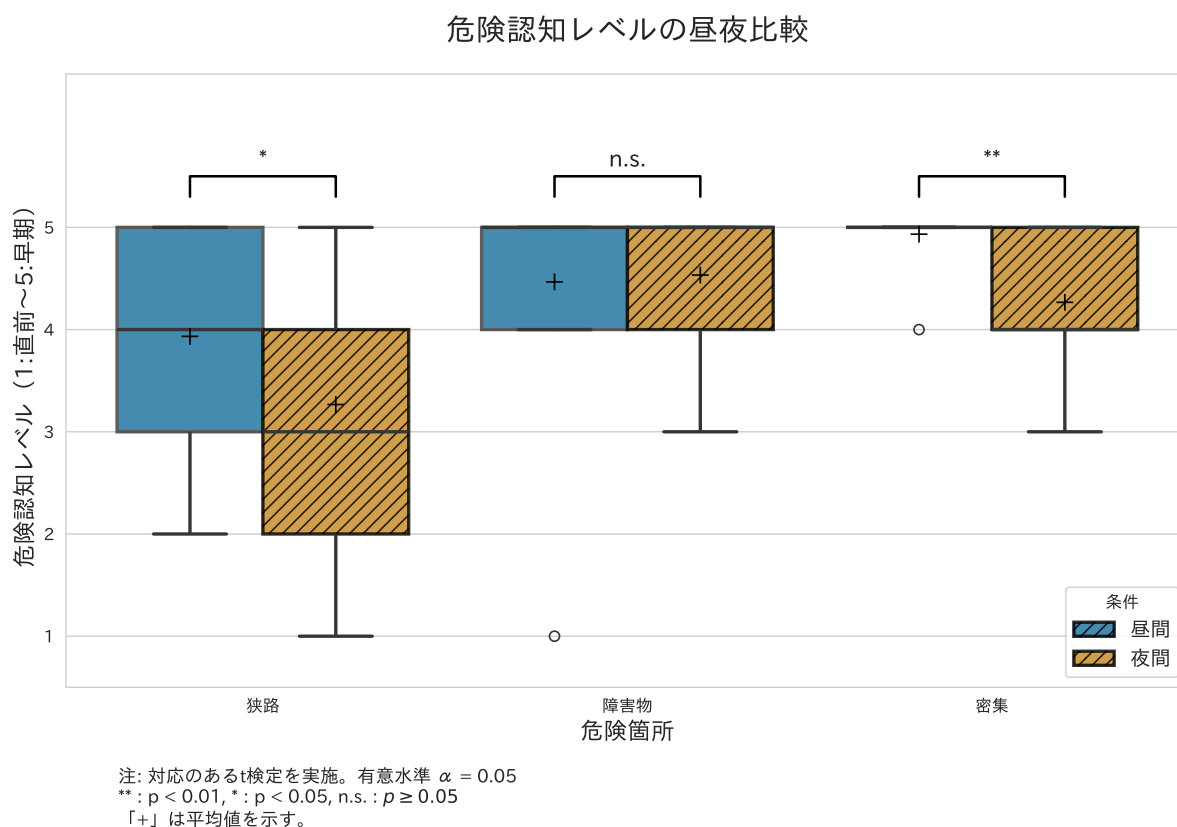


図 5.6 危険認知時点の昼夜比較の箱ひげ図

時間的発話余裕の比較

「音声入力を行ったタイミングで、どのくらい余裕があったか」について昼夜で比較した (表 5.6)。

表 5.6 発話余裕の昼夜比較 (5 段階評価)

危険箇所	昼間 ($n = 15$)	夜間 ($n = 15$)	p 値
狭路	3.93 ± 0.88	3.27 ± 1.33	0.0792
障害物	4.33 ± 0.98	4.27 ± 0.80	0.8551
密集	4.33 ± 0.82	4.27 ± 0.96	0.6662

3つの危険箇所すべてにおいて、発話余裕に統計的有意差は認められなかった ($p > .05$)。

5.3 結果

このことから、夜間環境でも被験者は音声入力を行う時間的余裕を確保できていたと言える。

5.3.3 キーワードの発話しやすさと心理的抵抗に関する比較

キーワードの話しやすさ

キーワードの「話しやすさ」について昼夜で比較した（表 5.7）。

表 5.7 心理的抵抗の昼夜比較（5段階評価）

キーワード	昼間 ($n = 15$)	夜間 ($n = 15$)	p 値
「狭い」	4.67 ± 0.72	4.33 ± 1.05	0.3795
「障害」	3.87 ± 1.06	3.93 ± 1.28	0.7389
「いっぱい」	3.93 ± 1.03	3.33 ± 1.23	0.1408

3つのキーワードすべてにおいて、昼夜間で心理的抵抗に統計的有意差は認められなかった ($p > .05$)。このことから、照度条件は発話の心理的ハードルに影響を与えないことが示された。

夜間環境でのキーワード間比較

夜間環境における3つのキーワードの話しやすさを比較した（表 5.8）。

表 5.8 夜間環境でのキーワード間比較（5段階評価）

キーワード	平均 \pm SD	中央値	範囲
「狭い」	4.33 ± 1.05	5.0	2 ~ 5
「障害」	3.93 ± 1.28	4.0	1 ~ 5
「いっぱい」	3.33 ± 1.23	4.0	2 ~ 5

フリードマン検定の結果、3条件間に統計的有意差が認められた ($\chi^2(2) = 8.07, p = .0177$)。ただし、多重比較 (Bonferroni 補正) では：

5.4 実験環境に対する没入感の比較

- 「狭い」 vs 「いっぱい」: $p = .0921$ (有意差なし)
- 「狭い」 vs 「障害」: $p = .1900$ (有意差なし)
- 「障害」 vs 「いっぱい」: $p = .5275$ (有意差なし)

すべてのペアで有意差は認められなかった。

これは昼間環境 (表 4.2) と同様の傾向であり, 夜間でも「狭い」が最も話しやすく, 「いっぱい」「障害」がやや話しにくい傾向は維持された。

5.4 実験環境に対する没入感の比較

実験 2 におけるシミュレータへの没入感 (表 4.5, Q1) を評価した結果, 平均値は 3.33, 標準偏差は 1.11 であった。実験 1 における同一被験者 ($n = 15$) の評価結果 (平均 3.33, 標準偏差 0.90) と, 実験 2 の結果を比較するため, ウィルコクソンの符号付順位検定を実施した。

その結果, 昼夜の照度条件の違いによる没入感の評価に統計的有意差は認められなかった ($p = 1.00$)。

表 5.9 没入感の昼夜比較 (5 段階評価)

環境	サンプルサイズ (n)	平均値 \pm SD	p 値
昼間	15	3.33 \pm 0.90	2*1.00 (n.s.)
夜間	15	3.33 \pm 1.11	

Wilcoxon 符号付順位検定 ($n = 15$ の対応あり比較) を実施。

実験 2 終了後, 15 名の被験者に対して没入感の要因に関するヒアリング調査を実施した。その結果, 没入感を促進した要因と阻害した要因として以下の点が抽出された。

■没入感を促進した要因 ヒアリングの結果, 特に視覚情報のリアリティと身体動作の同期が没入感の向上に寄与していることが示された。

5.5 考察

- **環境光の再現性：**「実際に部屋が暗かったこと、映像の街灯がリアルだった」、「暗かったおかげで教室にいる感覚がなく、画面に集中できた」といった意見が多く、夜間設定による外部情報の遮断が集中力を高めたことが確認された。
- **身体動作との同期：**「映像速度と同じようにペダルを漕いでいた」、「自分が漕ぐスピードと映像が一致していた」など、自発的なペダリング動作と映像の変化が一致している点が没入感を支える主因となっていた。

■**没入感を阻害した要因** 一方で、シミュレータの物理的制約に起因する違和感も指摘された。

- **操作性およびフィードバックの欠如：**「ハンドルを切れたら良かった」、「ハンドル操作がないのに（映像内の自転車が）曲がった」といったステアリング操作の不在や、「風や実際の安定性に乖離があった」といった物理的な外部刺激の欠如が没入感を損なう要因として挙げられた。
- **交通状況の不自然さ：**「自転車の速度が一定すぎる」、「車道にしては車の通りが少なく、危機感を感じなかった」など、交通流の密度や挙動の単純さがリアリティを低下させる一因となった。

5.5 考察

5.5.1 音声入力の操作性と認知負荷

昼夜比較の結果、音声入力の操作性（Q1）および走行への集中阻害度（Q2）について、3つの危険箇所すべてにおいて統計的有意差は認められなかった（すべて $p > .05$ ）。また、平均評価値は昼夜ともに5段階評価で4.0以上の高水準を維持しており、昼間環境で示された操作性の汎用性が、夜間環境においても保持されることが確認された。

この結果は、音声入力の技術的特性に起因すると考えられる。音声入力は視覚リソースではなく聴覚・言語リソースを用いるため、夜間走行による視覚負荷の増大と干渉しにくい。

5.5 考察

また、ボタン操作のように「手元を見る」必要がないブラインド操作であるため、照度低下が操作負荷を直接高める要因にならない。これにより、昼間環境で確認された「走行を阻害しない」という利点が、夜間環境でも維持されたと解釈できる。

ただし、実験 1、実験 2 の評価値はともに 4.0 以上に集中しており、天井効果の影響が懸念される。5 段階評価の上限付近では、実際には存在する微細な操作性の差異や認知負荷の違いを検出できない可能性がある。特に、実環境では夜間特有の認知負荷（街灯の少ない暗闇での不安感、予測困難な交通参加者の動き等）が加わるため、シミュレータ環境よりも評価値が低下する可能性がある。

また、実験 1 の考察（4.5.2 節）で指摘したように、本実験は管理されたシミュレータ環境で実施されており、実環境と比較して予測不能な要素が少なく、全体的な認知負荷が低く保たれていた。したがって、実環境における提案方式の夜間での操作性および認知負荷については、街灯整備状況や交通量といった外的要因を考慮した段階的な検証が必要である。

5.5.2 危険箇所における危険認知と発話タイミング

昼夜間の発話タイミングに統計的有意差が認められなかったことに関して、本実験の照明条件により、危険対象の検出に必要な視認性が昼環境と同程度に維持されたと考えられる。このことは、実環境においても街灯と自転車ライトが適切に整備されていれば、提案方式が夜間環境時においても昼間環境同様に機能する可能性を示唆している。一方で、主観評価では狭路および密集において夜間環境で認知が遅れた ($p < .05$) が、客観的な発話タイミングには昼間環境との有意差が生じていない。これは、視認性の低下により危険認知時点は遅延するものの、認知後は速やかに音声入力プロセスへ移行可能であり、システムの実用に必要な時間的余裕が維持されたことを示している。

また、夜間環境内での危険種別間比較では、障害物の先行時間が密集よりも有意に長かった ($p=.0128$)。この昼間環境では観察されなかった夜間環境特有の現象は、街灯光源に近い位置の障害物（路上駐車車両）が反射光により遠方視認性を獲得した一方、低位置の歩行者が照射の死角に入りやすかったためと考えられる。本実験では危険対象に反射板を設置してお

5.5 考察

らず、視認性が街灯との相対的位置関係および対象物の高さに大きく依存したことが影響した。密集（歩行者）に関しては、暗所で「動き」や「人影」の判別に接近を要し、危険箇所に近い地点での発話となり、先行時間が短縮したと推察される。

5.5.3 キーワードの発話しやすさと心理的抵抗

昼夜比較の結果、3つのキーワードすべてにおいて統計的有意差は認められなかった（狭い: $p = .3795$, 障害: $p = .7389$, いっぱい: $p = .1408$ ）。この結果は、照度条件の違い（物理的な暗さ）自体は、発話の心理的ハードルに直接的な悪影響を与えないことを示している。ただし、統計的有意差には至らなかったものの、「いっぱい」の評価値は昼間の3.93から夜間の3.33へと0.60ポイントの低下傾向を示した。この要因についてヒアリング調査の結果、「人がいると聞かれそうで恥ずかしい」といった意見が複数の被験者から確認された。すなわち、「いっぱい」は歩行者（人間）を対象とする言葉であるため、無生物対象のキーワードとは異なり、他者への配慮や評価懸念といった社会的要因が夜間の静寂性によって増幅され、心理的抵抗を高めたと結論付けられる。

一方、「障害」については、昼夜を問わず「日常会話ですっと出にくい」「『邪魔』の方が言いやすい」といった語彙の不自然さを指摘する声が挙がった。これにより、「障害」に対する心理的抵抗の正体は環境要因ではなく、キーワード選定における言語的親和性の低さにあることが明らかとなった。また、「狭い」に関しては、ヒアリングにおいて「ガードレールが見えにくく、直前まで確信が持てなかった」との報告があり、夜間の視認性低下が認知プロセスに影響したことが裏付けられた。しかし、発話行為そのものへの心理的抵抗は確認されなかった。

以上のことから、提案方式は基本的に時間帯によらず受容可能であるといえる。今後の改善として、対人場面における社会的抵抗感を低減する工夫や、「障害」をより直感的な日常語（例：「あぶない」「邪魔」）へ変更することで、さらなるユーザビリティの向上が期待できる。

5.5 考察

5.5.4 実験環境に対する没入感

実験2の没入感は平均3.33 ($SD = 1.11$)であり、昼間環境(平均3.33, $SD = 0.90$)と比較して統計的有意差は認められなかった(ウィルコクソンの符号付順位検定: $p = 1.00$)。この結果は、照度を夜間相当まで低下させた場合においても、被験者がシミュレータから得られる没入感の度合いは昼間環境と同程度に維持されていたことを示している。

ヒアリング調査から、没入感を促進した要因として「暗い環境下で表示される街灯のリアリティ」や「周囲が暗いことでモニタ映像へ自然と意識が入り込んだ」といった意見が得られた。これは、夜間設定による視覚情報の制限が、結果として実験室内の余分な視覚刺激を遮断し、被験者の集中力を高める効果をもたらしたためと考えられる。

昼間環境と同様、被験者が映像速度に合わせて無意識にペダリングを調整していた点は、夜間環境においてもシステムが提示する視覚情報に対して被験者が適応的な運動制御を行っていたことを示している。このことから、照度条件に関わらず、本シミュレータが実走行に近い身体的・感覚的なリアリティを一定程度確保できていたことが示唆される。

また、シミュレータ特有の「物理的リスクの欠如」は、昼夜を問わず本研究の重要な限界である。特に夜間環境は「ガードレールが見えにくく確信が持てなかった」との声もあり、実環境であれば存在するはずの接触・転倒リスクが欠如していることで、危険認知の閾値や発話タイミングが実走行時よりも遅延している可能性がある。

第 6 章

提案方式の有効性検証

本章では、第 4 章および第 5 章の実験結果を統合し、第 3 章で提示した 3 つの設計原則それぞれについて、提案方式の有効性を検証する。

6.0.1 原則 1 の検証：ハンズフリー操作による安全性の確保

検証方法

原則 1 「ハンズフリー操作による安全性の確保」の検証には、以下の評価項目を用いた：

- 音声入力の操作性（表 4.2, Q1：スムーズさ）
- 走行への集中阻害度（表 4.2, Q2）

検証結果

実験 1 では、音声入力の操作性について 3 つの危険場面間に有意差は認められず（フリードマン検定： $\chi^2(2) = 4.55, p = .103$ ），いずれも高評価であった（平均 4.23～4.54）。また、走行への集中阻害度についても 3 条件間に有意差は認められなかった（ $\chi^2(2) = 1.09, p = .580$ ）。これらの結果は、危険箇所の種類によらず、音声入力走行への集中を阻害しないことを示している。

夜間環境（実験 2）においても、操作性（Q1）および集中阻害度（Q2）について、すべての危険箇所昼夜間に統計的有意差は認められなかった（表 5.2, すべて $p > .05$ ）。また、発話余裕についても 3 箇所すべてで有意差は認められず（表 5.6, すべて $p > .05$ ），照

度条件の違いが音声入力の実行可能性に影響しないことが確認された。

この結果は、5.5.1 節で考察したように、音声入力が見覚リソースではなく聴覚・言語リソースを用いるため、夜間走行による視覚負荷の増大と干渉しにくいという技術的特性に起因すると考えられる。

原則 1 の達成度

実験 1 および実験 2 の結果から、原則 1 は達成されたと結論付けられる。ただし、これはシミュレーション環境における結果であり、実環境では予測不能な交通状況により認知負荷が増大する可能性がある（6.0.5 節参照）。

6.0.2 原則 2 の検証：主観的危険認知の即時記録

検証方法

原則 2 「主観的危険認知の即時記録」の検証には、以下の評価項目を用いた：

- 危険箇所通過時刻と発話時刻の差分（表 4.6, 表 5.3）
- 危険認知時点の主観評価（表 4.4, Q1）
- 発話タイミングの余裕（表 4.4, Q2）

検証結果

発話タイミングの条件間一貫性：昼間環境において、3 つの危険場面の平均発話タイミングは 3.05～3.23 秒の範囲にあり、統計的有意差は認められなかった ($\chi^2(2) = 4.22$, $p = .121$)。ただし、標準偏差は 2.46～2.51 秒と大きく、個人差が顕著であった。昼夜比較においてもすべての危険箇所でも平均値に有意差が認められなかった（表 5.3）。これらの結果は、個人差は大きいものの、平均的な発話タイミングは危険の種類や照度条件に依存しないことを示している。

主観的危険認知と発話の関係：主観評価では、障害物・密集は狭路より有意に早期認知されていた（表 4.4, Q1, いずれも $p < .01$ ）。しかし、この主観的な認知時点の差異にかかわらず、客観的な発話タイミングは 3 場面で類似していた（表 4.6）。4.5.1 節で考察したように、この結果は危険認知が「早期の視覚的検出」と「行動を開始すべき判断時点」の二段階で機能していることを示している。障害物・歩行者は離散的オブジェクトとして遠方から視認できるため早期認知される一方、狭路は連続的状态として接近して判断する必要がある。しかし、「今、記録すべき」という行動判断の時点は、危険の性質によらず共通のタイミング（危険箇所の約 3 秒前）で生起したと解釈できる。

原則 2 の達成度

実験結果から、原則 2 は**基本的に達成された**と評価できる。利用者は危険箇所通過から平均約 3 秒の時点で音声入力を実行でき、この時間は危険の種類や照度条件に影響されなかった。

本実験の走行速度（11.5km/h）において、3 秒という先行時間は距離にして約 9.6m に相当する。この空間的誤差の実用性を以下の 2 つの観点から評価する。第一に、ハザードマップ作成の観点では、一般的なスマートフォンの GPS 測位誤差（屋外開放環境で 5~10m 程度）[23] と同程度のオーダーであり、複数の利用者からのデータを集約することで、危険箇所の空間的傾向を把握するには十分な精度と考えられる。第二に、リアルタイム警告の観点では、9.6m の先行距離は走行速度 11.5km/h において約 3 秒の余裕時間を意味する。これは、運転者の認知・判断・操作に要する時間（一般に 1.5~2.5 秒とされる [24]）を考慮すると、回避行動を開始するための最低限の余裕は確保されていると言える。ただし、より高速な走行や、複雑な交通状況下では、この余裕時間が不十分となる可能性があり、実環境での検証が必要である。

ただし、以下の点に留意が必要である。第一に、標準偏差が 2.26~2.68 秒と大きく、個人差が顕著であった。これは距離に換算すると ± 7~8m 程度の幅に相当し、一部の被験者で

は危険箇所のほぼ直前での発話となる可能性がある。第二に、実環境での GPS 測位精度は、都市部の高層建築物付近やトンネル・高架下などの遮蔽環境において大きく低下するため、本実験で得られた時間的余裕が実用上十分であるかは、実環境での検証が必要である（6.0.5 節参照）。

また、「即時」の定義は状況依存的であり、より切迫した危険状況下での反応時間の検証も今後の課題として挙げられる。個人の危険認知特性に応じた適応的なシステム設計（例：発話タイミングの個人校正）も検討に値する。

6.0.3 原則 3 の検証：低認知負荷な入力インターフェース

検証方法

原則 3 「低認知負荷な入力インターフェース」の検証には、以下の評価項目を用いた：

- 音声認識の技術的精度（表 4.9）
- 音声入力の有効性（4.4.5 節）
- キーワードの発話しやすさ（表 4.3, Q1）

検証結果

音声認識の技術的性能：実際に発話があった場合（環境音を除く 273 件）、音声認識精度は 93.0%であった。キーワード別では、「いっぱい」が最も高い F1-score (0.967) を示し、「障害」(0.947)、「狭い」(0.906) がそれに続いた。

音声入力の有効性：システム全体としての音声入力有効性は 84.1%（302 試行中 254 回成功）であった。失敗の主因は環境音誤認識（58.3%）であり、VAD（Voice Activity Detection）未実装に起因する。

キーワードの受容性：「狭い」が最も話しやすく評価され（平均 4.53/5.0）、「障害」（3.70/5.0）との間に有意差が認められた（ $p = .003$ ）。この差は、日常語（形容詞）と専門

用語（名詞）の違いに起因すると考えられる。

原則 3 の達成度

音声認識精度 93.0%、音声入力有効性 84.1%という結果は、**条件付きではあるものの、実用的な水準に達している**と評価できる。音声認識分野では、人間の書き起こし精度（約 95%）が到達目標の一つとして位置づけられており、Xiong らは会話音声認識において人間と同等の性能を達成したことを報告している [25]。このような基準と比較すると、本システムの音声認識精度 93.0%は、商用・研究水準の音声インターフェースに近い妥当な性能であり、技術的には実用段階にあると考えられる。また、音声認識技術の発展史を整理した [26] も、高精度な認識性能が実用化の前提条件であることを指摘しており、本結果はその要件を概ね満たしている。

一方で、システム全体の有効性は 84.1%に留まっており、これは約 6 回に 1 回の割合で記録に失敗することを意味する。この点について、クラウドソーシング型のハザードマップ構築を想定した場合、複数利用者からの冗長なデータ収集により個々の失敗を補完できるため、本研究で得られた有効性の水準であっても運用上は許容可能と考えられる。

ただし、個人の安全支援を目的としたリアルタイム警告システムへの応用においては、より高い信頼性が求められ、少なくとも 95%以上の有効性が望ましい。そのため、今後は VAD（Voice Activity Detection）の導入による環境音誤認識の抑制や、日常語を考慮したキーワード設計などの技術的改善が必要である。以上より、本研究における原則 3 は基本的に達成されたものの、実環境への本格的な展開にはさらなる性能向上が求められると結論付けられる。

さらに、音声入力によって記録された主観的危険情報を実用的な安全支援に活かすためには、データの蓄積・可視化と、他の利用者への通知方式の設計が今後の重要な課題となる。

収集された危険情報は、地図上へのヒートマップ表示や時間帯・天候条件別の危険度可視化といった形で蓄積・提示することで、利用者が事前に危険箇所を把握しやすくなると期待

される。特に、本研究で対象とした主観的危険認知に基づくデータは、客観的センサデータでは捉えにくい「利用者が実際に危険と感じた箇所」を反映しており、クラウドソーシング型ハザードマップの信頼性向上に貢献できると考えられる。

また、通知方式については、通知タイミング（危険箇所への接近距離・時間）、通知内容（危険の種類・深刻度）、通知方法（音声・振動・視覚的提示）の最適な組み合わせを検討する必要がある。特に、走行中の認知負荷を増大させない通知設計は、原則3の低認知負荷という設計思想と一貫しており、慎重な検討が求められる。さらに、通知が利用者の安全意識向上や実際の回避行動といった行動変容にどの程度寄与するかを定量的に評価することも、システムの有用性を実証するうえで不可欠な検証項目である。

6.0.4 総合評価

提案方式の有効性

本研究の実験結果から、提案方式はシミュレーション環境において実用可能な水準に達していると結論付けられる。特に、以下の点を実証された：

- 音声入力は走行への集中を阻害しない
- 発話タイミングは危険の種類や照度条件に依存しない
- 音声認識精度は実用的な水準（93.0%）に達している

6.0.5 本研究の限界

シミュレーション環境による制約

室内シミュレータを使用したため、実環境との以下の乖離が生じた。

身体的リスクの欠如 ヒアリング調査から「ぶつからない安心感」といった指摘があり、物理的危険がないことで、危険認知の閾値が高くなった可能性がある。

操作性の制約 ステアリングやブレーキの操作感が乖離していたことで、能動的回避行動が

認知プロセスに与える影響を評価できていない。

環境の簡素化 視覚的・状況的複雑さが不足しており、実環境の多様な刺激が認知負荷に与える影響を網羅できていない。

速度制御の固定性 固定速度設定が個人の走行特性と合致していない場合があり、発話タイミングへの影響が異なる可能性がある。

被験者属性・システムの制約

- **被験者属性**：若年層が中心であり、高齢者等への一般化可能性は限定的である。
- **音声認識**：VAD未実装による誤認識や、実験環境の騒音が実環境より低い点に留意が必要である。
- **実験デザイン**：短期実験であり、長期利用における学習効果や継続性の検証には至っていない。

第7章

まとめ

本研究では、自転車走行中の危険箇所を音声入力で記録する方式を提案し、シミュレーション環境における有効性を検証した。昼間環境および夜間環境での実験を通して、以下の知見が得られた。第一に、音声認識の技術的精度は93.0%、システム全体としての音声入力有効性は84.1%を記録し、実用的な水準に達していることが示された。第二に、音声入力の操作性および走行への集中阻害度について、3つの危険箇所間および昼夜間で統計的有意差は認められず（すべて $p < .05$ ）、危険の種類や照度条件によらず一定の操作性が維持されることが確認された。第三に、発話タイミングは危険箇所通過の平均約3秒前（距離換算で約9.6m）であり、収束しており、環境に依存しない一貫した先行性が示された。第四に、キーワードに日常語（「狭い」）を用いることで心理的抵抗が低減されることが示唆された。一方、本研究の限界として、シミュレーション環境ゆえの物理的リスクの欠如や環境の簡素化、被験者属性の偏りが挙げられる。今後は、実交通環境における認知負荷の変動を考慮し、交通が遮断された安全な空間での走行実験や、VAD（有声音区間検出）実装によるノイズ耐性の向上など、段階的な実用化検証を進める必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教員である敷田幹文教授には4年間に渡り熱心にご指導をいただきました。心より感謝申し上げます。また、副査である繁榎博昭教授、中原潔教授には、本研究について様々な観点からご指導、助言をいただきました。さらに、実験用システムの開発に際してご支援いただいた情報学群2年の細川夏風さん、本研究に対する議論や助言を通じてご協力いただいた研究室の皆様、ならびに実験にご参加いただいた皆様にも心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 内閣府. 令和 5 年交通安全白書, 2023. 自転車事故の統計データ.
- [2] 古倉宗治, 屋井鉄雄, 小早川悟, 鹿田成則. 自転車の道路通行システムの変遷と課題. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 74, No. 5, pp. I.859–I.873, 2018.
- [3] 横関俊也, 萩田賢司, 矢野伸裕, 森健二. 自転車の通行方法と事故の危険性について – 歩道のある単路部での検討 –. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 72, No. 5, pp. I.1095–I.1104, 2016.
- [4] 国土交通省道路局, 警察庁交通局. 安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 6 2025.
- [5] 日本国. 自転車活用推進法. 平成 28 年法律第 113 号, 2016. 平成 28 年 12 月 16 日公布, 平成 29 年 5 月 1 日施行.
- [6] 一般財団法人道路交通情報通信システムセンター. Vics サービス, 2025. リアルタイム交通情報システム.
- [7] 国土交通省. 自転車ネットワークの現状・課題. https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/bicycle-safe/pdf5/bicycle-safe5_shiryo1.pdf, 2024. Accessed: 2024-07-01.
- [8] 松尾悠平, 宮崎耕輔, 竹谷修一, 吉武哲信. 画像認識型交通量観測装置 (ai カメラ) を活用した初の一般交通量調査. 九州地方整備局研究発表会論文集. 国土交通省九州地方整備局, 2022. AI 技術を活用した交通量・速度データの高精度化.
- [9] 日本国. 個人情報の保護に関する法律. 平成 15 年法律第 57 号, 2003. 最終改正: 令和 3 年法律第 37 号.
- [10] 鈴木美緒, 小竹輝幸, 高木知里, 見持武志, 藤田有佑, 八坂和吏, 吉田健一郎, 大方優子. 自転車ナビゲーションアプリの利用実態と行動の把握可能性に関する研究. 交通工学論文集, Vol. 7, No. 1, pp. 11–18, 2021.

参考文献

- [11] 久保田彰人, 北島規雄, 小林 祐貴他. 口コミと路面状況を共有できる自転車用安全運転支援システム. 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報, Vol. 109, No. 39, p. 103–108, 2009.
- [12] 原田力伎, 小野重遥, 金井秀明. Web 地図を活用した自転車の危険な挙動認識及び録画映像に基づく運転記録システムの提案. 第 2024 巻, pp. 124–129. 情報処理学会, Nov 2024.
- [13] Paweł W. Woźniak, Lex Dekker, Francisco Kiss, Ella Velner, Andrea Kuijt, and Stella F. Donker. Brotate and tribike: Designing smartphone control for cycling. MobileHCI '20, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [14] 二村凌, 打矢隆弘, 内匠逸. スマートグラスを用いた自転車ナビゲーションシステムにおける情報提示タイミングの評価. 第 27 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 250–255. 情報処理学会, 11 2019. IPSJ-DPSWS2019039.
- [15] 出世ゆかり, 横山仁, 鈴木真一, 前坂剛, 平野洪賓, 下瀬健一, 加藤亮平, 飯塚聡, 三隅良平. 気象レポートシステム「ふるりポ!」を活用した気象と防災への関心向上のための取り組み. 日本気象学会大会講演予稿集, 第 124 巻, p. 486, sep 2023.
- [16] Rafael Hologa and Nils Riach. Approaching bike hazards via crowdsourcing of volunteered geographic information. *Sustainability*, 2020.
- [17] 中野達也, 山本彰, 小林寛, 橋本雄太, 高宮進. スマートフォンを活用した自転車通行実態調査に関する研究. 土木学会論文集, Vol. 47, pp. 171–176, 2013.
- [18] Epic Games, Inc. Unreal engine 5. <https://www.unrealengine.com/>, 2022. Accessed: 2024-09-01.
- [19] Hubert Pham. Pyaudio. <https://people.csail.mit.edu/hubert/pyaudio/>, 2006. Accessed: 2024-10-01.
- [20] Nickolay V. Shmyrev. Voskspeechrecognitiontoolkit. <https://github.com/alphacep/vosk-api>, 2020. Accessed: 2024-10-01.
- [21] Alpha Cephei. Japanese speech recognition model (vosk-model-small-ja-0.22).

参考文献

- <https://alphacephei.com/vosk/models>, 2021. Accessed: 2024-10-01.
- [22] Christopher D. Wickens. Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, Vol. 50, No. 3, pp. 449–455, 2008.
- [23] N. T. Penna, R. M. Bingley, and A. H. Dodson. Single receiver heighting using the active stations of the national gps network of great britain. *Survey Review*, Vol. 36, No. 283, pp. 340–350, January 2002.
- [24] Masao Nakagawa and Takeshi Sugimoto. Investigation on the cognitive reaction time of human drivers under real traffic situations. *Journal of the Japan Society for Design Engineering*, Vol. 58, No. 6, pp. 249–264, 2022.
- [25] Wayne Xiong, Jasha Droppo, Xuedong Huang, Frank Seide, Michael Seltzer, Andreas Stolcke, Dong Yu, and Geoffrey Zweig. Achieving human parity in conversational speech recognition. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, Vol. 25, No. 12, pp. 2410–2423, 2017.
- [26] Biing-Hwang Juang and Lawrence R. Rabiner. Automatic speech recognition – a brief history of the technology development. In *Encyclopedia of Language and Linguistics*. Elsevier, 2 edition, 2005.

研究業績

- [1] 佐藤 光, 敷田 幹文. 振動通知を用いた自転車ナビゲーションシステムの評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2024 (DICOMO 2024) 論文集, Vol. 2024, pp. 1507–1512, 2024 年 6 月.