



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	案内標識および路面標示視認時における視線移動の特徴
Author(s)	前山, 昂弥
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(保健科学)
Dissertation Number	甲第16823号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16823
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99668
Type	doctoral thesis
File Information	Takaya_Maeyama.pdf, 全文



学 位 論 文

案内標識および路面標示視認時における視線移動の特徴

前山 昂弥

北海道大学大学院保健科学院
保健科学専攻 保健科学コー
ス

2025年度

目 次

要約	-2-
略語リスト	-4-
第1章 緒言	-5-
1-1 安全運転に必要な行為	-5-
1-2 安全運転に必要な視線移動	-5-
1-3 案内標識の設計基準と提示様式の国際比較	-7-
1-4 路面標示の設計基準と提示様式の国際比較	-13-
1-5 案内標識・路面標示の視認研究の現在地と今後の課題	-16-
1-6 本研究の目的	-17-
第2章 研究1：案内標識の位置と運転速度に着目した視線移動の特徴と認知機能との関連	-18-
2-1 研究1の位置づけと検討課題	-18-
2-2 方法	-19-
2-2-1 対象	-19-
2-2-2 装置	-19-
2-2-3 刺激	-19-
2-2-4 視認（視線移動）の定義	-21-
2-2-5 認知機能と机上の文字の読みの尺度	-22-
2-2-6 データ収集の手続き	-23-
2-2-7 統計学的解析	-24-
2-2-7-1 案内標識視認と認知機能・個人特性との関連	-24-
2-2-7-2 4条件（低速/高速走行×正面/左側）間の視認の差異	-24-
2-2-8 倫理審査	-24-
2-3 結果	-25-
2-3-1 案内標識視認と認知機能・個人特性との関連	-25-
2-3-2 4条件間の視認の差異	-29-
2-4 考察	-31-

2-4-1	案内標識の視認と認知機能・文章の読み・基本属性との関係	-31-
2-4-2	条件の難易度と案内標識内の視認との関係	-32-
2-4-3	研究の限界	-33-
2-5	結論と今後の展望	-33-
第3章	研究2：路面標示視認における文字情報形態と視線移動との関連	-34-
3-1	研究2の位置づけと検討課題	-34-
3-2	方法	-35-
3-2-1	対象	-35-
3-2-2	装置	-35-
3-2-3	刺激	-35-
3-2-4	視認（視線移動）の評価	-37-
3-2-5	認知機能の評価	-38-
3-2-6	データ収集の手続き	-38-
3-2-7	統計学的解析	-39-
3-2-7-1	路面標示視認中およびその前後の固視点の位置の比較	-39-
3-2-7-2	路面標示視認時間中における固視点の位置の比較	-40-
3-2-7-3	運転速度や標示の文字数と固視の動態との関係	-40-
3-2-7-4	路面標示視認中の固視の継続時間と回数と基本属性・認知機能との関連	-40-
3-2-8	倫理審査	-41-
3-3	結果	-41-
3-3-1	路面標示視認中およびその前後の固視点の位置の比較	-41-
3-3-2	路面標示視認時間中における固視点の位置の比較	-43-
3-3-3	運転速度や標示の文字数と固視の動態との関係	-45-
3-3-4	路面標示視認中の固視の継続時間と回数と基本属性・認知機能との関連	-45-
3-4	考察	-47-
3-4-1	路面標示の視認前・視認中・視認後における固視位置およびばらつきの比較	-47-
3-4-2	視認中の時間経過（前半・中盤・後半）に伴う固視位置およびばらつきの時系列的変化	-47-
3-4-3	運転速度や情報量が路面標示の固視の動態に与える影響	

.....	-48-
3-4-4 認知機能と基本属性が路面標示視認に与える影響.....	-48-
3-4-5 研究の限界.....	-49-
3-5 結論と今後の展望.....	-49-
第4章 総合考察.....	-50-
4-1 情報提示位置と視認特性の統合的理解.....	-50-
4-2 運転速度が視線移動に及ぼす影響.....	-51-
4-3 ドライバー特性が視認に及ぼす影響の相違.....	-52-
4-4 総合的な研究限界.....	-53-
4-5 研究結果から考えられる交通設計・支援への応用.....	-53-
第5章 結論.....	-54-
第6章 謝辞.....	-55-
参考文献.....	-56-
業績リスト.....	-66-

要約

【緒言】

自動車運転は社会生活や自立、生活の質に密接に関わるが、注意の散漫や情報の誤認は交通事故の要因となるため、周囲環境や標識・標示の文字情報を正確に認識する視線移動が不可欠である。案内標識は目的地や距離、方向など複数の情報を同時に提示し、記憶や計画性など高次の認知機能を要する一方、路面標示は制限速度や警告を直接伝達し、運転操作に直結する即時的処理を必要とする。しかし、現状の案内標識や標示は認知機能との関連や視認性など科学的なエビデンスを基にした設計にはなっていない。よって、より安全な路面標識や標示を設置、開発するためには、文字情報の視認過程における視線移動と認知機能、運転経験、速度や位置といった運転状況との関係を検討することが不可欠である。本研究は、運転中に提示される文字情報の視認に伴う視線移動を、案内標識および路面標示という異なる情報提示媒体を通して比較・検討し、安全運転に必要な情報処理特性を明らかにした。研究1では案内標識視認時の視線移動を、研究2では路面標示視認時の視線移動を分析し、ドライバー特性や運転条件に応じた情報提示の最適化に資する基礎的知見を構築し、安全で理解しやすい交通情報環境の設計に寄与することを目指した。

【研究1：案内標識の位置と運転速度に着目した視線移動の特徴と認知機能との関連】

本研究（研究1）は健常成人24名を対象に、視距離57 cmでアイトラッカー（60 Hz）を用いて視線移動を計測し、車載動画の低速／高速×前方／左側の4条件で案内標識を提示した。固視の継続時間、固視の回数、サッケードの振幅、およびサッケードの回数を視線移動の尺度として解析した。また、Trail Making Test-Japanese Edition A・B（TMT-J A・B）の注意機能と処理速度、Wechsler Memory Scale-Revised（WMS-R）の視覚性記憶および言語記憶、Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome（BADS）のZoo Map Testにおける計画性、有効視野（useful field of view: UFOV）、Minnesota Reading Ease and Acuity Test-Japanese Edition（MNREAD-J）による机上読書時の視線移動を含む認知機能評価および机上読書課題を実施した。その結果、前方の標識では言語・視覚性記憶、計画性、UFOVが視線移動の尺度と有意に関連した一方、左側の標識では年齢や運転歴が関連しており、左側の案内標識の認識には高度な技能が必要であり、認知機能よりもドライバーの経験に大きく依存することが示唆された。さらに、4つの条件のうち、速度が速く、左側に位置する場合、案内標識内の目的地の視認がより困難になった。左側の案内標識と速度の高速化による負荷の増加は、視線移動に影響を与えた。以上のように、案内標識の位置と速度は、案内標識内

の目的地の視認の困難さに影響を与えることが示された。

【研究2：路面標示視認における文字情報形態と視線移動との関連】

本研究（研究2）は健常成人20名を対象に、視距離57 cmでアイトラッカー（60 Hz）を用いて数字および文字の路面標示視認時の視線移動を計測した。固視点の位置とそのばらつき、固視の継続時間および回数を視認の尺度として解析し、視認の前後や時間経過による変化、運転速度や標示の情報量との関係を検討した。その結果、路面標示の種類と時間の交互作用は認められなかったが、視認中には固視点が垂直方向に上昇し、水平方向のばらつきが減少したことから、時間経過とともに固視が路面標示に集中することが示唆された。また、数字より文字の路面標示を視認する際には固視位置が高く、情報量の多い文字の路面標示ではより長い固視の継続時間が認められた。数字標示では視認可能時間が長いほど固視の継続時間も長くなり、運転速度や情報量が視認の持続に影響することが示された。これらの結果から、路面標示視認は「環境確認から標示への注意集中」という二段階的な過程に基づくことが示され、情報量や走行速度を考慮した設計が必要であることが明らかになった。

【総合考察・結論】

案内標識では「水平方向の配置」（前方か左側か）が視線移動に影響し、一方で路面標示では、提示される文字情報の「垂直方向の形状」（縦長か否か）が固視位置の高さを規定し、視線の上下方向の分布を特徴づけていた。さらに、両課題において、速度が速いほど探索量は抑制され、知覚・認知負荷を高める方向に作用することが示された。

今後の社会実装においては、これらの特性を踏まえた情報提示設計が不可欠となる。すなわち、案内標識では、特に左側の配置において、情報量の抑制、表示内容の簡素化、音声案内との併用等による負荷軽減が有効であり、路面標示では、文字が縦長になるほど固視位置が上方に移動しやすいという動態を踏まえ、文字列の縦幅・情報量を考慮した配置・強調手法を用いることで、視認効率の向上が期待される。教育・支援の観点では、側方情報の取得が経験・探索スキルに依存するため、初心者や高齢者に対する視線誘導訓練や注意配分の教育が有用である。さらに、速度に応じて提示情報を最適化する動的支援技術を導入すれば、ドライバーの認知的・視覚的特性に適応した安全運転支援に寄与しうる。結論として、本研究は視線移動と認知機能や基本属性との関係を体系的に位置づけたほか、運転中の文字情報の提示位置・構造を人間中心的に最適化するための基礎的エビデンスを提供するものと考えた。

略語リスト

ANOVA: Analysis of variance

BADS: Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome

MNREAD-J: Minnesota Reading Ease and Acuity Test-Japanese Edition

NASA-TLX: NASA Task Load Index

TMT-J A・B : Trail Making Test-Japanese Edition A・B

UFOV: Useful field of view

WMS-R: Wechsler Memory Scale-Revised

第1章 緒言

1-1 安全運転に必要な行為

自動車の運転は現代社会において移動や運送の手段として非常に重要な活動であり (Biedermann et al., 2022; Puchta, 2008) , 日常生活活動 (Edemekong et al., 2019; Fricke and Unsworth, 2001; Lipskaya-Velikovsky et al., 2013) や個々人の自立 (Bottari et al., 2012) , 生活の質 (Biedermann et al., 2022; Chihuri et al., 2016; Patterson et al., 2019) に大きく関わっている。これらのことから、運転は社会生活において人々の身体機能や活動、参加にポジティブな影響をもたらしていると考えられ、社会的に必要な活動である。しかし、ひとたび運転中に周囲の環境に対する注意が散漫になると、道路環境を適切に視認し、道路状況に応じた判断ができなくなるなど、運転が危険になり致命的な交通事故を起こす原因となる (Balasubramanian and Sivasankaran, 2021; Cheng, Terry, and Lee, 2011; Miyoshi and Nakayasu, 2011; Pour-Rouholamin and Zhou, 2016) 。そのため、ドライバーは安全運転のために必要な位置に視線を移動させ、運転時の周囲の環境、標識内の記号や文字の情報を適切に認識することが必要となる。

1-2 安全運転に必要な視線移動

視線移動は、主に固視とサックードという二種類のもので構成されている。固視は見ているところの情報を得るために視点が特定の場所に留まると定義され、サックードは二つの連続した固視の間で視線を急速に動かすことと定義される (Mahanama et al., 2022) 。固視した箇所からは最も詳細に情報を取得することができ、サックードの大きさや回数は目標に対してどれだけ効率的に固視点を移動させられたかを反映する。こうした固視とサックードの組み合わせは、ヒトが視覚情報を段階的に収集し、必要な対象へ注意を向けるための基本的なメカニズムであり、両者が連続的に繰り返されることで周囲の環境を効率的に把握することが可能になる。そのため運転中のドライバーは、刻々と変化する交通状況に対応するために、標識・路面標示・車両・歩行者など複数の情報源へ視線を切り替えながら、固視によって必要な情報を取得し、サックードを用いて次の関連情報へ注意を移すという一連の視線移動を絶えず行っている。加えて運転中の視線移動に関する先行研究では、視線は主に水平方向に展開されることが報告されている (Mackenzie and Harris, 2014) 。特に高速道路走行時には、視線の分布範囲は相対的に狭まるものの、水平方向への広がり維持される一方、垂直方向の視線分布には顕著な変化がみられないことが示されている (Chapman and Underwood, 1998) 。

このような視線移動は、例えば歩行者や前方を走っている車、対向車といっ

た前方の道路上の環境に対して注意を払い危険を予測し察知する危険認知

(Borowsky, Shinar, and Oron-Gilad, 2010; McKenna and Horswill, 1999) において重要な役割を担う。危険認知には視覚探索が重要な役割を果たしており、その要求が高いほど路面への視線移動の範囲がより広くなることによって構造化され (Mackenzie and Harris, 2015) , 効率的になる (Di Stasi et al., 2020) ことが示されている。

また、安全運転に必要な視線移動は危険認知だけでなく、運転時に遭遇する記号や文字の情報を取得するためにも重要となる。その中でも、不慣れな場所において安全かつ迅速に目的地に到達するための案内標識 (Liu, Sun, and Rong, 2011; Toi et al., 2005) , 路面の性状やドライバーへの警告を伝えるために路面に設けられている路面標示 (Babić et al., 2020; Marciano, 2024) に対しても行われており、運転中の情報取得に重要な役割を担っている。

なお、運転中の視線移動は固視とサッケードという2つの基本的な要素から構成されるだけでなく、これらを定量化するための代表的な尺度として、固視の継続時間、固視の回数、サッケードの振幅、サッケードの回数が広く用いられている (表1-1, 図1-1) 。固視の継続時間は目標に対する注意の持続を、固視の回数は探索量を、サッケード振幅は視線移動の空間的広がり、サッケード回数は探索行動の活発さをそれぞれ示す指標であり、運転者が道路環境からどのように情報を取得しているのかを理解する上で重要な基盤となる。

表 1-1. 固視とサッケードにおける代表的な 4 つの尺度

尺度	定義	運転課題における解釈
固視の継続時間	目標を固視している時間.	長いほど注意集中が持続している (Tullis and Albert, 2013; Kotseruba and Tsotsos, 2021)
固視の回数	目標を固視した回数.	回数が多いほど注意の配分が多い (Huang et al., 2020)
サッケードの振幅	目標に対して、もしくは目標内で行われたサッケードの大きさ	課題の難易度や探索範囲を反映する (Han et al., 2022; Pomplun, Garaas, and Carrasco, 2013)
サッケードの回数	目標に対して、もしくは目標内で行われたサッケードの回数	回数が少ないほど探索が効率的 (Yang et al., 2020; Yang et al., 2024)

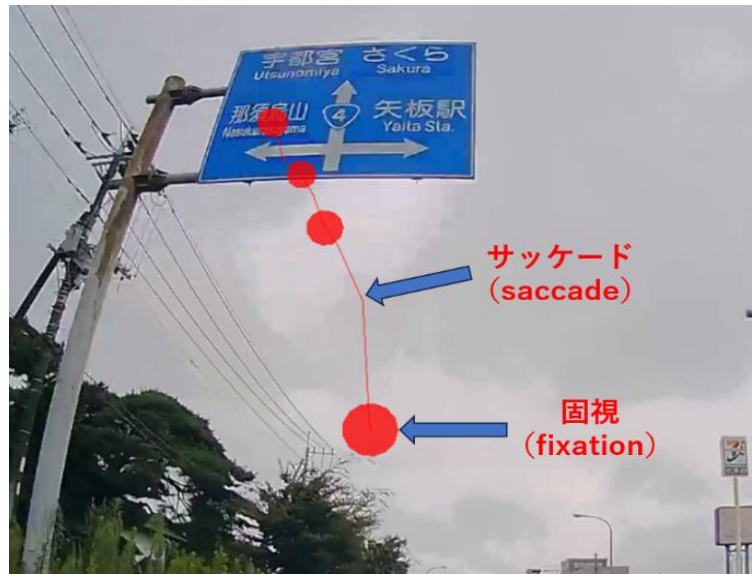


図 1-1. アイトラッキングで取得した、案内標識上の目的地認識時の固視（赤い円）とサッケード（固視間の赤い直線）を示すプロット。参加者が案内標識内の目的地名「那須烏山」を視認するように教示された際の視線の軌跡を示している。赤い円が固視、円の大きさが固視の継続時間、固視間の赤い直線の長さがサッケードの振幅を示している。

1-3 案内標識の設計基準と提示様式の国際比較

案内標識は目的地や通過地の方向や距離を示すとともに目的地までの経路を案内する標識であり、ドライバーにとって重要な情報となる。交通情報網が発達している現代では、案内標識の文字情報は、走行中に必要となる地名・方向・距離といった重要情報をドライバーに連続的に提供するためのものであり（Du et al., 2022）、そのため運転中に提示される文字情報の中でも特に中心的な役割を果たす。これらの情報は、位置把握や進路判断といった運転時の情報処理を支える基盤となるため、案内標識の視認はドライバーの情報処理において明確な役割を担っている。これらの視認には危険認知と同じく、複雑な認知機能の処理が求められる（Aihara et al., 2001）。案内標識を適切に視認できないと交通事故に繋がるということが報告されており（Radzak et al., 2015）、それらの視認はドライバーや運転環境における安全性確保の観点から非常に重要である。

こうした視認過程を理解するうえでは、案内標識がどのような設計原理に基づいて構築されているかを把握する必要がある。フォントサイズ、設置位置、情報量といった設計要素は国・地域の交通環境や道路設計思想を反映しており、結果としてドライバーが受ける認知負荷にも差異が生じうる。したがって、日本と中国、アメリカのような主要国の規格を比較することは、案内標識における視認性の前提条件を国際的な文脈で相対化し、本研究の背景となる文字情報

の視認の特徴を整理するうえで重要である。また、国際比較を行うことで、世界の案内標識、路面標示設計の課題を抽出し、本研究の意義を明確にする。

表1-2は、日本、中国、アメリカのそれぞれの案内標識の特徴についてまとめたもので、図1-2は日本、中国、アメリカのそれぞれの案内標識の具体例である。まず、文字の大きさに着目すると、日本では道路の制限速度に応じて10 cmから30 cmの範囲でフォントサイズが定められており、制限速度の上昇に応じて標識の文字は大型化する（Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, n.d.）。高速道路においては視認性を確保するため、50 cmが標準寸法とされている。一方、中国では、一般道路では25 cmから50 cm、高速道路では50 cmから70 cmの範囲と異なる文字サイズが採用されているが、日本と同様に制限速度の上昇に応じて標識の文字は拡大する（Standardization Administration of China & State Administration for Market Regulation, 2009）。これに対しアメリカでは、都市部の一般道路で制限速度が時速25マイル以下の場合、大文字および数字は4インチ（約10 cm）、小文字は3インチ（約8 cm）が標準とされている。高速道路の案内標識では、大文字および数字は6インチ（約15 cm）、小文字は4.5インチ（約11 cm）が用いられ、英字表記を前提とした寸法体系が採用されている（United States, 2009）。

次に標識の設置位置に関する基準をみると、日本では標識の視認性を損なわず、かつ添架する施設の機能に影響を与えないことを条件として、左右の路側または道路上空への設置が定められている（Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, n.d.）。中国では一般道路の場合は左右の路側に設置することが原則であり、高速道路、多車線（3車線以上）、交錯・合流・分流が多い区間、または景観上路側設置が適切でない場合には、路面上空へ設置することが規定されている（Standardization Administration of China & State Administration for Market Regulation, 2009）。アメリカでは、路側・路面上空のいずれも認められており、走行環境、視認性、分岐情報の複雑さ、交通量などを踏まえて柔軟に使い分けることが示されている（United States Federal Highway Administration, 2023）。この点においてアメリカは、3か国の中で最も設置位置の裁量の幅が広いといえる。

最後に標識内の情報量に着目すると、日本では一般道路および高速道路ともに、案内標識に記載できる情報量に関する明確な数値基準は設けられていない。これに対し中国では、一枚の案内標識に含められる情報は最大6項目（地名・距離を含む）と明確に規定されている（Standardization Administration of China & State Administration for Market Regulation, 2009）。アメリカでは、日本および中国とは異なり、項目数ではなく視認性に基づく表記量の上限が示されており、案内標識の場合、地名、路線番号、道路名、方位を含む目的地を3行以内に制限

する必要があることが規定されている（United States, 2009）．これらを総合すると，日本は設置環境に応じた柔軟な運用が特徴であり，中国は基準の明確化による統一性を重視し，アメリカは視認性を損なわずドライバーの認知負荷を考慮した運用方針を採用していることがわかる．

表 1-2. 各国の案内標識の規格の比較

項目	日本	中国	アメリカ
文字の大きさ (上:一般道路, 下:高速道路)	道路の制限速度ごとに 10 cm から 30 cm と決められており, 制限速度が大きくなるほどフォントサイズは大きくなる (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, n.d.)	一般道路でのフォントサイズは 25 cm から 50 cm (Standardization Administration of China & State Administration for Market Regulation, 2009)	都市部で制限速度時速 25 マイル以下の場合, フォントサイズは大文字や数字は 4 インチ (約 10 cm), 小文字は 3 インチ (約 8 cm) (United States, 2009)
	高速道路では視認性を上げるためにフォントサイズは 50 cm と規定されている (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, n.d.)	高速道路でのフォントサイズは 50 cm から 70 cm (Standardization Administration of China & State Administration for Market Regulation, 2009)	高速道路の案内標識の場合, 大文字や数字は 6 インチ (約 15 cm), 小文字は 4.5 インチ (約 11 cm) (United States, 2009)

標識の位置	添架する施設の機能を損なわず 標識自体の視認性を確保できる ように、左右の路側または路面上 空に配置（Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, n.d.）	一般道路は左右の路側に設置. （Standardization Administration of China & State Administration for Market Regulation, 2009） 多車線（3 車線以上）、高速道路・ 交錯／合流／分流が多い道路、路 側設置で景観を損なう場合は路 面上空に設置（Standardization Administration of China & State Administration for Market Regulation, 2009）	路面上空・左右いずれも可．柔軟 に使い分けることが明記（United States Federal Highway Administration, 2023）
標識内の情報量（一般道路，高速 道路共通）	一般道／高速道ともに，具体的な 情報量の規定なし（Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, n.d.）	一般道／高速道ともに，一枚の案 内標識内の情報量は 6 個まで （地名・距離含む） （Standardization Administration of China & State Administration for Market Regulation, 2009）	案内標識の場合，地名，路線番号， 道路名，方位を含む目的地を 3 行以内に制限する必要がある （United States, 2009）



図 1-2. 各国の案内標識の例. (a)日本 (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, n.d.), (b)中国 (Li et al. 2019), (c)アメリカ (Federal Highway Administration, 2023)

1-4 路面標示の設計基準と提示様式の国際比較

路面標示には線や図形で書かれているもの（例：停止線，中央線，転回禁止など）と数字や文字で書かれているものがあるが，特に数字は制限速度を，文字は道路状況についての警告を直接的に明示している（Greenhalgh and Mirmehdi, 2015）．路面はドライバーの視野の大部分を占めるため，路面標示はメッセージをドライバーに伝えることにおいて有効な手段である（Nagami, Wu and Furubayashi, 2022）．それらの視認のための効率的な固視やその移動方法は，法定速度の順守や道路の形状（例：交差点，カーブ）に応じた安全な運転において重要である．

表1-3は，日本，中国，アメリカにおける路面標示の特徴を比較したもので，図1-3は日本，中国，アメリカにおける路面標示の具体例である．まず，数字のフォントサイズに着目すると，日本では縦5,000 mm × 横1,200 mmが標準寸法として定められている．一方，中国では速度区分に応じて段階的に規格が設定されており，40 km/h未満では縦3,000 × 横1,000 mm，40–100 km/hでは縦6,000 × 横2,000 mm，100 km/h以上では縦9,000 × 横3,000 mmと，速度が高い道路ほど大型化する仕様となっている．アメリカでは，高速道路における標準寸法は縦約1.8 m（約6フィート）とされ，横方向の長さは道路状況に応じて調整可能であるほか，一般道路で時速25マイル（約40 km/h）以下の場合には標示寸法を最大25%縮小できるなど，柔軟な運用が可能となっている．

文字フォントについて，日本では縦2,400 mm × 横800 mmが標準とされているのに対し，中国では数字の寸法に比例して速度区分ごとに拡大・縮小することが定められている．アメリカではアルファベット表記であることから，文字のフォントサイズは数字と共通の寸法体系に基づいて設定される．

次に配置方法に着目すると，数字の配置は3か国とも左から右に表記される点で共通している．一方，文字の配置には各国固有の方式がみられ，日本では縦書きで，複数の文字を記載する場合には「最後の文字が最下部に位置する」ように上から下へ並べる．中国も縦書きを採用するが，日本とは反対に「最初の文字が最下部に位置する」ように下から上へ並べる点に特徴がある．これに対しアメリカでは原則として横書き（左→右）を採用し，複数の語を含む場合には単語単位で段ごとに配置する方式が用いられる．

以上のことから，3か国はいずれも路面標示における視認性を確保することを共通目的としているものの，その実現方法は大きく異なり，文字サイズ・文字の配置方向・縦書きと横書きの使い分けなど，提示様式に国ごとの特徴が表れていることが示唆される．

表 1-3. 各国の路面標示の規格の比較

項目	日本	中国	アメリカ
フォントサイズ (数字)	縦5000 mm × 横1200 mm (National Institute for Land and Infrastructure Management, 2015)	40 km/h未満：縦3000 ×横1000 mm 40–100 km/h：縦6000 ×横2000 mm 100 km/h以上：縦9000 ×横3000 mm (Ministry of Transport of the People’s Republic of China, 2024)	高速道路は縦約1.8 m (約6 フィート), 横は状況により調整可能. 時速25マイル以下の一般道は25%縮小可能 (United States, 2023)
フォントサイズ (文字)	縦2400 mm × 横800 mm (National Institute for Land and Infrastructure Management, 2015)	速度区分ごとに数字と同じ比率で調整 (Ministry of Transport of the People’s Republic of China, 2024)	英語表記のため数値基準は数字と共通 (United States, 2023)
配置 (数字)	左→右 (National Institute for Land and Infrastructure Management, 2015)	左→右 (Ministry of Transport of the People’s Republic of China, 2024)	左→右 (United States, 2023)
配置 (文字)	上→下 (最後の文字が一番下)	下→上 (最初の文字が一番下)	左→右 (原則横書き) (United States, 2023)

	(National Institute for Land and Infrastructure Management, 2015)	(Ministry of Transport of the People's Republic of China, 2024)	
複数の文字（単語）の扱い	最後の文字が一番下になるように縦に並べる（National Institute for Land and Infrastructure Management, 2015)	最初の文字が一番下になるように縦に並べる（Ministry of Transport of the People's Republic of China, 2024)	単語を段ごとに配置（United States, 2023)

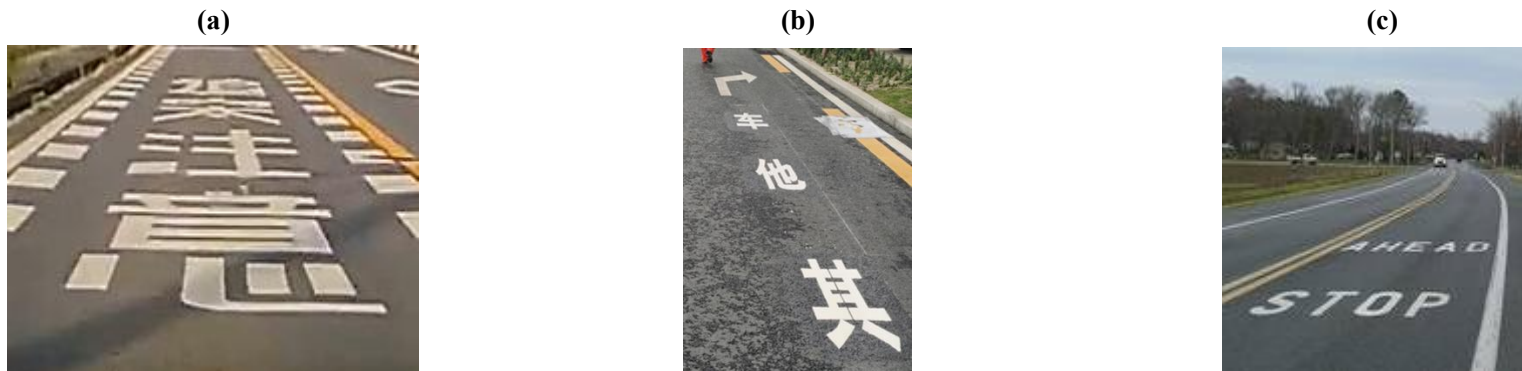


図 1-3. 各国の案内標識の例. (a)日本 (Maeyama, Okada, and Sawamura, 2025). 縦書きで”追突注意”と書かれている. ; (b)中国 (Meien Pavement Marking Co., Ltd, n.d.). 縦書きかつ最初の文字が一番下に来るように”其他车”と書かれている. ; (c)アメリカ (Gross et al., 2007). ”AHEAD STOP” と, 単語を段ごとに配置している.

1-5 案内標識・路面標示の視認研究の現在地と今後の課題

表1-1および表1-2から、日本、中国、アメリカでは、運転速度や進行方向、さらに道路構造に応じて案内標識および路面標示の規格が整備されていることが確認された。これらの規格では、フォントサイズ、設置位置、表記方向、情報量などが詳細に規定されており、各国が走行環境下での視認性向上を意図して標示設計を行っている点は共通している。しかし、こうした規格はドライバーの視線移動や認知処理の特性に基づくエビデンスを体系的に反映して策定されたものではなく、標示設計とドライバーの情報取得過程・運転行動との関連については実証的な裏付けが十分とはいえない。そのため、現行の標示規格がドライバーにとって最適な視認性を提供しているのか、また「視認性」の概念自体が妥当かどうかについて、視線移動や認知機能を踏まえて実証的に検討することが求められる。

案内標識に関する先行研究では、運転速度の上昇や標識内の情報量の増加により視認が困難になることが報告されている（Huang et al., 2020; Liu, Sun, and Rong, 2011; Ren et al., 2019; Zwahlen, Russ, and Schnell, 2003）。例えばHuangら（2020）の研究やRenら（2019）の研究では、地名や距離、方向といった案内標識内の情報量が増えるほど、標識内の視線移動が増加し、視認が難しくなることを報告している。Liu, Sun, Rongの研究では（2011）では、案内標識内の情報が複雑になるにつれて視認時間に加えて車両の加速や車線維持といった運転行動にも悪影響を及ぼすことを明らかにした。

しかし、これらの研究は標識内情報量や速度条件が視認や運転行動にどのような影響を及ぼすかを明らかにした一方、視認を支える認知機能や年齢・運転経験といった個人差要因との関連性については、十分な検証が行われていないのが現状である。また、標識の位置がドライバーの前方以外、すなわち左右いずれかにある場合の視認についても十分な検討がなされていない。運転中は標識が側方に配置されることも多く、位置や速度に応じた視線移動の理解は安全運転のために重要である。

一方、路面標示に関する研究では、線や図形による標示が速度低下や車線維持に寄与することが報告されている（Havránek et al., 2020; Lee et al., 2013）。Havránekら（2020）は、路面標示としてカーブ内側や外側に白線を施すことで平均走行速度が低下し、走行軌跡の改善が得られたと述べている。Leeら（2013）は、事故を起こすリスクが高いドライバーに対して、ドラゴンティース型（車速の減少を目的とした、三角形が歯のように路面の両側に並ぶように構成されている型）の路面標示が運転速度減少に最も役立つことを示した。しかし、ドライバー誰もが遭遇する代表的かつ基本的な路面標示である数字や文字の視認過程や、年齢・運転経験・認知機能との関連を明らかにした研究はほとんど

ない。

以上の知見を踏まえると、運転中の文字情報（案内標識・路面標示）の視認に関する研究は、日常的に遭遇する状況や文字情報を視認する際の視線移動の特性は十分に明らかにされておらず、認知特性、個人属性との関連もほとんど行われていないということが言える。

1-6 本研究の目的

本研究では、世界各国の案内標識および路面標示の設計が、必ずしも認知科学的エビデンスに基づいた設計になっていないこと、さらに日常の走行環境で頻繁に直面する提示位置（前方／側方）や文字構造（数字／文字）の違いが視線移動および認知機能・運転経験とどのように関連するかについて、既存研究では体系的に検討されてこなかったという知的空白を踏まえ、運転時の文字情報視認における視線移動の特性を、案内標識および路面標示という異なる情報提示媒体を通して明らかにすることを目的とする。

具体的には、運転中に提示される案内標識および路面標標示に対して、視線方向や固視時間、探索パターンなどが、情報の提示位置、提示形式、運転速度によってどのような影響を受けるのかを検討する。加えて、これら視線移動の特徴とドライバーの年齢や運転経験などの基本属性および認知機能との関連を明らかにする。これらの検討を通して、道路上の情報提示がドライバーの視覚的・認知的処理にどのように作用するのかを明確化し、安全運転を支援するための案内標識および路面標示の設計に資する科学的根拠の抽出を目指す。

本論文は2つの研究から構成される。第2章の研究1では案内標識を対象とし、前方提示と側方提示を比較することで、情報の水平配置の違いが視線移動および認知処理に及ぼす影響を明らかにする。案内標識は複数情報を同時に提示するため、その視認過程には複雑な認知的処理が関与していると考えられ、視線移動特性の把握は標識設計における重要な知見を提供する。

第3章の研究2では路面標示を対象とし、数字標示と文字標示を比較することで、提示情報の種類と縦方向の情報構造の違いが視線移動に与える影響を検討する。路面標示は単一情報を直接提示する点で案内標識とは異なる特性を有しており、その視線移動の理解は別の観点から安全運転支援に寄与するものと考えられる。

すなわち研究1では「水平方向における位置の違い」、研究2では「文字数や形態による縦方向長さの違い」に起因する視線移動の差異を明らかにし、さらに両研究に共通して、視線移動に影響する運転状況依存的要因とドライバー特性依存的要因の峻別を試みる。

本研究の最終的な目的は、案内標識と路面標示という異なる情報提示形式を

統合的に検討し、道路上の情報提示がドライバーの視覚的・認知的処理に与える影響の全体像を明らかにすることである。これにより、安全運転支援の観点から望ましい標識・標示設計に向けた科学的根拠を提供し、ヒューマンファクターの視点から交通環境整備に貢献することできる。

第2章 研究1：案内標識の位置と運転速度に着目した視線移動の特徴と認知機能との関連

2-1 研究1の位置づけと検討課題

研究1では、実際の車載動画に基づく視認課題を用いて、前方および左側の案内標識内の地名、目的地の視認における視線移動とドライバーの認知機能および基本属性の関係を検討した。提示された動画には、運転速度（低速対高速）と標識の位置（前方対左側）の二つの要因を組み合わせた4つの条件が設定された。具体的には、①低速かつ進行方向の前方に案内標識がある、②高速かつ進行方向の前方に案内標識がある、③低速かつ進行方向の左側に案内標識がある、④高速かつ進行方向の左側に案内標識がある。このデザインにより、標識の位置と速度が視覚行動に及ぼす影響、およびドライバーの認知機能や基本属性との関連を系統的に比較できることができた。視認条件を変化させるこのような研究デザインは、運転状況による視覚探索と情報処理負荷の影響を検討するのに有用であり、視認条件が変化する手法は、ターゲットとの距離と視認のタイミングの制約が情報の取得にどのように影響するかを検討した先行研究（Kaber et al., 2015; Shang et al., 2021）と一致している。

本研究では、先行研究の知見に基づき、以下の3つの仮説を提唱した。

処理速度や遂行機能は運転中の視覚探索行動に影響を与えることが示されている（McInerney and Suhr, 2016; Moran, Bennett, and Prabhakaran, 2020）。したがって仮説1は、案内標識における目的地の地名視認時の視線移動が、標識の位置や運転速度に応じて異なるパターンにて認知機能と相関する、とした。

また、刺激提示時間が短くなると視線移動の活動が少なくなるとなる知見（Li and Zhang, 2017; Zhou, Yin, and Liu, 2020）に基づき、仮説2では、運転速度が増加すると案内標識の視認に必要な視線移動の回数が減少する、とした。

更に、サッケードの振幅は進行方向の側方に位置する刺激を視認する際に減少する傾向があるという知見（Yuen et al., 2021）に基づき、仮説3は、案内標識が左側に位置する場合、前方に位置する場合とは異なる視線移動のパターンが観察される、とした。

2-2 方法

2-2-1 対象

サンプルサイズは、G*power (Faul et al., 2007) バージョン3.1.9.7を用いて計算した。本研究の主要解析である被験者内因子を4とする反復測定分散分析 (ANOVA) において、効果量の中 ($f = 0.25$) と仮定し、統計的検出力 ($1 - \beta$) の値は0.80と仮定した。その結果サンプルサイズは24名と算出された。

本研究の対象者は、日本の主要都市の一つに在住する健常成人であり、募集はチラシやポスターを使い、主に医療機関、医療系大学で行った。取り込み基準は、①運転免許を所持している20歳から59歳、②裸眼もしくは矯正視力が0.6以上であること、③神経心理学的既往が無いこと、④てんかんの既往が無いこと、⑤白内障や緑内障といった眼科的疾患の既往が無いこととした。

最終的に、24名の対象者 (男性8名、女性16名) が本研究に取り込まれた。平均年齢、平均運転歴、平均教育歴はそれぞれ 36.5 ± 12.8 歳 (21~59歳)、 14.8 ± 14.4 年 (0~40年)、 15.0 ± 1.9 年 (12~20年) である。本研究における運転歴には、免許取得後の運転と免許取得過程における路上教習の両方が含まれる。対象者は全員日常生活でのみ自動車の使用経験があり、専門的な運転経験は無かった。

2-2-2 装置

文章の読みの評価と車載動画を使ったデータ収集のために、刺激提示モニター (iiyama ProLite B2480HS, Mouse Computer Co., Ltd, Tokyo, Japan) を使用した。モニターのサイズは高さ29.5 cm、幅 52.35 cm、画像解像度は 1920×1080 ピクセル、輝度は 300 cd/m^2 であった。モニターと対象者間の距離は57cmに設定され、これは水平方向に約 49.4° 、垂直方向に約 29.1° の視角に相当した。距離57cmは車載動画を用いた危険認知課題で設定された距離であり (Cantwell, Isler, and Starkey, 2013)、この距離でモニターを見たときの視覚範囲は対象者が車載動画の刺激内の視覚情報に視線を移動させて焦点を当てるのに十分であると考えられている (Sasaki, 2014)。これらのことから、モニターのサイズによって視線移動の動態が制限される可能性は低いと考えられる。

対象者の視線移動の計測のために、サンプリングレートが60Hzのアイトラッカー (Tobii X60 Eye Tracker; Tobii, Danderyd Municipality, Sweden) を用いた。刺激提示とアイトラッカーで収集した視線移動のデータの解析のために、Tobii Studio version 3.1.6 (Tobii) を使用した。

2-2-3 刺激

本研究で使用した刺激は、案内標識が映る車載動画であり、速度 (低速・高速) と設置位置 (前方・左側) を組み合わせた4条件を設定した。すなわち、①

低速（40–60 km/h）で標識が前方にある条件（Slow and front），②低速で左側にある条件（Slow and left），③高速（100–120 km/h）で前方にある条件（Fast and front），④高速で左側にある条件（Fast and left）である．各条件につき10本の動画を用意し，低速条件は一般道路，高速条件は高速道路で記録した．平均走行速度はそれぞれ51.1，49.9，103.1，101.3 km/hであり，Kruskal–Wallis検定で全体差を確認した後，Bonferroni補正を用いた事後比較を実施したところ，低速の2条件（51.1 vs. 49.9 km/h）および高速の2条件（103.1 vs. 101.3 km/h）間に有意差は認められなかった．

すべての動画はドライバー視点で撮影され，音声ガイダンスや字幕などの外的情報を除去して，実際の運転環境に近い自然な知覚条件を再現した．案内標識の提示時間は全条件で4秒とし，これは交通標識の認知に必要な固視の継続時間に関する先行研究（Campbell, 2012; De Ceunynck et al., 2015）に基づく．視線移動解析には，加減速や操舵の影響を除外するため，加速度が0.1Gを超えると対象者の視覚や立体視に悪影響が出るという先行研究（Horng et al., 2015）に基づき加速度0.1G未満の走行区間を使用した．

案内標識は実在の目的地名（市町村名，インターチェンジ名，ジャンクション名など）を含み，参加者の居住地から離れた地域を選定して，事前知識の影響を排除した．目的地名の個数（一～八個）および標識上の表示位置については，Kruskal–Wallis検定（多重比較はBonferroni法）により条件間に有意差がないことを確認した．案内標識内の地名の配置位置は標識の中央を基準に上・下・左・右・中央の五領域に分類し，全体で均等に分布するよう設計した．ただし，ここで扱う地名の配置位置は標識内の文字配置を指すものであり，実験条件としての標識位置（前方・左側）とは異なる概念であるため，統計解析の変数としては扱わなかった．

案内標識の配置の例を図2-1aと2-1bに示す．

a



b



図 2-1. 動画における案内標識の配置の例. a. 正面条件. b. 左側条件.

案内標識に書かれている地名のフォントサイズは、研究が実施された日本の法律で定められており、本研究の低速条件の場合20から30cm、高速条件においては50cmとした（Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. N.d.）。

2-2-4 視認（視線移動）の定義

本研究では、先行研究（Huestegge and Böckler, 2016; Lee, Wood, and Black, 2015; Huang et al., 2020; Yang et al., 2024）を参考に、案内標識の視認を以下の4指標で評価した：①固視の継続時間（ms），②固視の回数，③サッケードの振幅（°），④サッケードの回数である。

固視の継続時間は案内標識内の目的地を注視している時間であり（Tullis and Albert, 2013），長いほど注意の集中が持続していると解釈した（Kotseruba and Tsotsos, 2021）。固視の回数は目的地を固視した回数であり，回数が多いほど注意の配分が多いとみなした（Huang et al., 2020）。地名の固視は，固視点から半径5°以内に目的地名が含まれる場合と定義した（Osaka, 1989; Osaka and Oda, 1991）。

サッケードの振幅は目的地間の視線移動の大きさであり，課題の難易度や探索範囲を反映する指標とした（Han et al., 2022; Pomplun, Garaas, and Carrasco, 2013）。サッケードの回数は案内標識内での視覚探索の頻度を示し，回数が少ないほど探索が効率的であると解釈した（Yang et al., 2024）。目的地名へのサッケードは，標識外から目的地名への移動，または目的地名間の移動と定義した（Yang et al., 2020）。

視線移動の検出はTobii StudioのI-VT fixation filter（Olsen, 2012）を用い，両眼の平均値を算出した。固視の継続時間の下限は60 ms，サッケードの振幅の下限は1°，サッケードの速度の下限は30°/sとした。

本研究では，自然な視認の動態や個人差を反映させるため，各指標は正規化を行わない生データで評価した。この方法は，運転関連の探索的研究に有効であり（Li and Zhang, 2017; Zahabi et al., 2018），将来的な正規化指標との比較や，ドライバー特性に応じた視線戦略の可視化に寄与すると考えられる。

2-2-5 認知機能と机上の文字の読みの尺度

運転に必要な認知機能の評価として，先行研究（Egeto et al., 2019; Ledger et al., 2019; Okada, Morimoto, and Ikeda, 2024; Okada et al., 2025）に基づき，注意機能と処理速度の評価のためにTrail Making Test-Japanese Edition (TMT-J) のAとB (Ishiai, Umeda, and Funayama, 2019)，言語記憶と視覚性記憶の評価のためにWMS-R:

Wechsler Memory Scale-Revised (Wechsler, 1987) , 計画性の評価のためにBADs: Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome (Wilson et al., 2004) の動物園地図課題を使用した。動物園地図課題は、運転技能の評価の際に有意な関係がみられたことが報告されている (Nicholls et al., 2024; Nihei et al., 2022) 。 TMT-J のAとBは時間 (秒) を、WMS-RやBADsの各検査は得点を計測した。

また有効視野 (useful field of view: UFOV) の評価のために、先行研究 (Eramudugolla et al., 2017; Hardcastle et al., 2022; Hudak et al., 2021; Richer et al., 2021) に則りBrainHQ® (brainhq.com/?v4=true&fr=y) 内のDouble Decisionという評価を用いた。この評価は、画面中心に異なる二台の車のうち一台が表示され、その周辺のどこかに道路標識 (Route 66) が妨害要素とともに短時間提示される。その直後に車の種類と道路標識が出現した位置を答えるというものである。この評価では、現れた車の種類と道路標識の位置の正答数を点数とし、30問の繰り返しで満点は60点である。

上記の認知機能評価の結果を表2-1に示す。

表 2-2. 対象者の認知機能評価の詳細。

評価尺度	点数 (平均 ± 標準偏差, (範囲))
TMT-J A (秒)	33.89 ± 10.97 (22.61 - 69.15)
TMT-J B (秒)	63.16 ± 44.15 (29.1 - 260)
WMS-R 言語記憶	22.33 ± 5.23 (10 - 30)
WMS-R 視覚性記憶	36.83 ± 4.16 (27-41)
BADS Zoo Map Test	15.58 ± 0.64 (14-16)
UFOV	50 ± 2.73 (43-56)

さらに、本研究では、机上における文章を読む際の視線移動能力との関連性も検討した。案内標識の文字を視認する能力は、机上で文章を読む際の視線移動と関連しているものと考えられる。評価には先行研究 (Hatsusaka et al., 2021) で用いられているMNREAD-J: Minnesota Reading Ease and Acuity Test-Japanese Edition (Oda, 1998) の文章を用いた。MNREAD-Jの文章は合計24文字 (1行8文字が3行) で、平仮名16文字と漢字8文字で構成されている。用いられている漢字は全て小学校の学習過程で学ぶものである。フォントはMS明朝、フォントサイズは28であり、このフォントサイズは57cm離れて見ると1文字が視角換算で1° となる大きさである。視線移動の評価尺度は、固視の継続時間 (ms) , 固視の回数, サッケードの振幅 (°) , サッケードの回数とした。

対象者には、五つの点でキャリブレーションが実施された後、57cm離れたモニターに提示された文章を行に沿って最初から最後まで黙読するように指示し

た．対象者が文章を読んでいる間の視線移動はアイトラッカーによって記録された．文章上の視線移動が正確に記録されなかった試行はデータ収集から除外された．

これらの評価は，車載動画における案内標識および路面標示視認時の視線移動計測の前に実施された．

2-2-6 データ収集の手続き

データ収集は，外部の光を遮断した静かな環境で実施された．データ収集において，五つの点でキャリブレーションが実施した．先行研究(Huang et al., 2020)に則り，対象者は実際に目的地に向かって運転しているという想定で動画を見るよう指示された．これは，受動的な動画の観察ではなく，自然な注意配分と視線移動を引き出すことを目的としており，ドライバーとしての視線を擬似化した．

対象者はモニターから57cm離れた位置に座り，4つの条件の車載動画のセットを観た．

刺激の提示順序として，まず目的地が示された説明文を7秒提示され，その次に固視点として画面の中心に提示された十字を3秒固視した後，対象者は説明文で提示された目的地を読むために車載動画を7秒提示された．対象者が目的地を読んでいる間の視線移動がアイトラッカーで記録された．一つの動画が終わると，また別の目的地が説明文で提示され，十字の固視点が提示されたのち別の車載動画が提示された．キャリブレーションは，一つの動画条件を開始するごとに行われた．動画条件の提示順序は低速条件（一般道路）から高速条件（高速道路）の順で固定され，カウンターバランスをとるよりも実際の運転における自然な進行を優先した．順序の固定による学習効果を最小限に抑えるため，各案内標識の目的地名の位置は，上，下，左，右，中央と，同じ位置が連続して表示されないように変化した．

各動画条件の終了後，対象者は目的地名を正しく視認できたかどうかを尋ねられ，全員が正しく視認できたと回答した．これは，視線移動データの妥当性を確認するための基本的なパフォーマンスの確認として機能した．

データ収集の環境と流れを図2-2aと2-2bに示す．

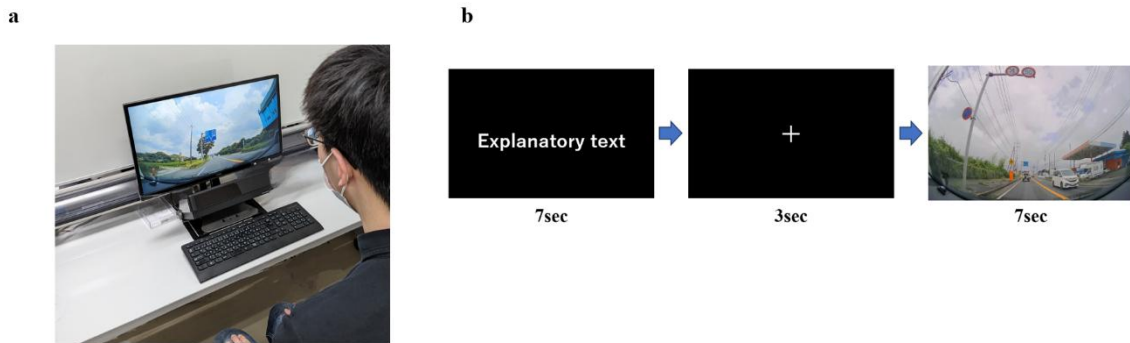


図 2-2. データ収集の環境と流れ.

a. 実際のデータ収集の環境.

b. データ収集の流れの概略図. "Explanatory text" は、動画内で案内標識内のどの地名を視認してほしいか教示したものである. 一つの動画条件の中でこの流れが10回繰り返される.

2-2-7 統計学的解析

2-2-7-1 案内標識視認と認知機能・個人特性との関連

対象者の基本属性や認知機能が運転中の案内標識内の目的地の視認の尺度にどのように影響を及ぼすのかを探索するために年齢、性別、運転歴、教育歴、注意機能と処理速度、言語記憶、視覚性記憶、計画性、UFOV、机上での視線移動と車載動画を見た際の視線移動との相関分析を行った. この分析は、統合条件、Slow and front条件、Slow and left条件、Fast and front条件、Fast and left条件で実施された.

2-2-7-2 4条件（低速/高速走行×正面/左側）間の視認の差異

車の速度や位置が案内標識内の目的地の視認にどのように影響を及ぼすのかを探索するために4条件（Slow and front条件、Slow and left条件、Fast and front条件、Fast and left条件）間で視線移動の比較を行った. Kolmogorov–Smirnov検定により正規性の仮定が満たされたため、1（参加者群）×4（車載動画の条件）の反復測定分散分析（ANOVA）を実施した. 有意な主効果が見られた場合、第1種のエラーをコントロールするためにBonferroni法での補正後の事後比較を行った.

全ての統計学的解析の有意水準は $P < 0.05$ とし、解析ソフトはEZR version 1.61 (Kanda, 2013) を使用した.

2-2-8 倫理審査

本研究は北海道大学大学院保健科学研究院倫理審査委員会の承認を得て実施

された。データ収集前に、本研究の全ての対象者に対して、本研究の目的、研究参加の自由、研究不参加による不利益がないこと、匿名の保持、評価、結果の公表などについて十分な説明を行い、書面による同意を得た。

2-3 結果

すべての変数は、Kolmogorov–Smirnov検定によって正規性が確認された。

2-3-1 案内標識視認と認知機能・個人特性との関連

案内標識内の目的地への視認と基本属性および運転に必要な認知機能との相関解析を実施した。条件全体を統合した結果は表2-2a, Slow and front条件は表2-2b, Slow and left条件は表2-2c, Fast and front条件は表2-2d, Fast and left条件は表2-2eにそれぞれ示した。動物園地図課題のみ点数が三段階だったため、Spearmanの順位相関係数を適用した。

表 2. 基本属性および運転に必要な認知機能と案内標識内の目的地における視認の尺度の相関.

表2-2a. 統合条件での相関.

	年齢	運転歴	教育歴	TMT-J A	TMT-J B	WMS-R 言語記憶	WMS-R 視覚性記憶	BADS Zoo Map Test	UFOV 点数
固視の継続 時間	$r = -0.470$ $P < 0.001$	$r = -0.480$ $P < 0.001$	$P = 0.111$	$P = 0.355$	$P = 0.369$	$P = 0.875$	$r = -0.346$ $P < 0.001$	$\rho = 0.270$ $P = 0.008$	$r = 0.259$ $P = 0.011$
固視の回数	$P = 0.788$	$P = 0.838$	$P = 0.153$	$P = 0.645$	$P = 0.704$	$P = 0.134$	$P = 0.988$	$\rho = 0.305$ $P = 0.003$	$P = 0.527$
サッケード の振幅	$P = 0.328$	$P = 0.237$	$P = 0.228$	$P = 0.676$	$P = 0.613$	$P = 0.203$	$P = 0.284$	$\rho = 0.204$ $P = 0.047$	$P = 0.933$
サッケード の回数	$P = 0.859$	$P = 0.859$	$P = 0.0809$	$P = 0.513$	$P = 0.700$	$r = -0.205$ $P = 0.045$	$P = 0.623$	$\rho = 0.315$ $P = 0.002$	$P = 0.496$

表 2-2b. Slow and front 条件の相関.

	年齢	運転歴	教育歴	TMT-J A	TMT-J B	WMS-R 言語記憶	WMS-R 視覚性記憶	BADS Zoo Map Test	UFOV 点数
固視の継続 時間	$r = -0.446$ $P = 0.029$	$r = -0.431$ $P = 0.036$	$P = 0.267$	$P = 0.825$	$P = 0.962$	$P = 0.0526$	$P = 0.809$	$\rho = 0.513$ $P = 0.01$	$P = 0.2$
固視の回数	$P = 0.486$	$P = 0.658$	$P = 0.645$	$P = 0.670$	$P = 0.623$	$r = -0.445$ $P = 0.029$	$P = 0.649$	$\rho = 0.435$ $P = 0.034$	$P = 0.281$
サッケード の振幅	$P = 0.795$	$P = 0.784$	$P = 0.149$	$P = 0.435$	$P = 0.661$	$P = 0.187$	$P = 0.571$	$P = 0.204$	$P = 0.55$
サッケード の回数	$P = 0.719$	$P = 0.798$	$P = 0.610$	$P = 0.645$	$P = 0.805$	$r = -0.457$ $P = 0.025$	$P = 0.761$	$\rho = 0.406$ $P = 0.049$	$P = 0.263$

表 2-2c. Slow and left 条件の相関.

	年齢	運転歴	教育歴	TMT-J A	TMT-J B	WMS-R 言語記憶	WMS-R 視覚性記憶	BADS Zoo Map Test	UFOV 点数
固視の継続 時間	$r = -0.465$ $P = 0.022$	$r = -0.432$ $P = 0.035$	$P = 0.564$	$P = 0.581$	$P = 0.362$	$P = 0.351$	$P = 0.188$	$P = 0.318$	$P = 0.112$
固視の回数	$P = 0.531$	$P = 0.441$	$P = 0.146$	$P = 0.895$	$P = 0.817$	$P = 0.834$	$P = 0.760$	$P = 0.202$	$P = 0.587$
サッケード の振幅	$P = 0.249$	$P = 0.304$	$P = 0.599$	$P = 0.654$	$P = 0.277$	$P = 0.939$	$P = 0.243$	$P = 0.206$	$P = 0.928$
サッケード の回数	$P = 0.719$	$P = 0.658$	$P = 0.0998$	$P = 0.969$	$P = 0.989$	$P = 0.637$	$P = 0.492$	$P = 0.104$	$P = 0.898$

表 2-2d. Fast and front 条件の相関.

	年齢	運転歴	教育歴	TMT-J A	TMT-J B	WMS-R 言語記憶	WMS-R 視覚性記憶	BADS Zoo Map Test	UFOV 点数
固視の継続 時間	$r = -0.410$ $P = 0.046$	$r = -0.460$ $P = 0.024$	$P = 0.498$	$P = 0.265$	$P = 0.771$	$P = 0.266$	$r = -0.457$ $P = 0.025$	$P = 0.183$	$P = 0.479$
固視の回数	$P = 0.0728$	$P = 0.118$	$P = 0.458$	$P = 0.36$	$P = 0.932$	$P = 0.963$	$P = 0.648$	$\rho = 0.518$ $P = 0.01$	$P = 0.511$
サッケード の振幅	$P = 0.093$	$P = 0.171$	$P = 0.708$	$P = 0.458$	$P = 0.849$	$P = 0.822$	$P = 0.672$	$P = 0.104$	$P = 0.845$
サッケード の回数	$P = 0.0731$	$P = 0.122$	$P = 0.946$	$P = 0.365$	$P = 0.899$	$P = 0.541$	$P = 0.731$	$\rho = 0.537$ $P = 0.007$	$P = 0.572$

表 2-2e. Fast and left 条件の相関.

	年齢	運転歴	教育歴	TMT-J A	TMT-J B	WMS-R 言語記憶	WMS-R 視覚性記憶	BADS Zoo Map Test	UFOV 点数
固視の継続 時間	$r = -0.631$ $P = 0.001$	$r = -0.665$ $P < 0.001$	$P = 0.418$	$P = 0.773$	$P = 0.733$	$P = 0.962$	$P = 0.233$	$P = 0.288$	$P = 0.12$
固視の回数	$P = 0.720$	$P = 0.953$	$P = 0.0511$	$P = 0.951$	$P = 0.329$	$P = 0.802$	$P = 0.742$	$P = 0.522$	$P = 0.802$
サッケード の振幅	$P = 0.923$	$P = 0.997$	$P = 0.756$	$P = 0.846$	$P = 0.186$	$P = 0.295$	$P = 0.475$	$P = 0.890$	$P = 0.586$
サッケード の回数	$P = 0.176$	$P = 0.259$	$r = 0.442$ $P = 0.031$	$P = 0.961$	$P = 0.302$	$P = 0.736$	$P = 0.446$	$P = 0.941$	$P = 0.799$

NOTE: 太文字で書かれた箇所は有意差がみられた尺度である.

基本属性においては、年齢と運転歴がすべての条件で固視の継続時間と負の相関を持っていた。Fast and left条件において教育歴がサッケードの回数と正の相関を示した。

統合条件では、動物園地図課題の成績が固視の継続時間と回数、サッケードの振幅と回数の4つすべての尺度と相関していた。また固視の継続時間においては視覚性記憶の成績との間で負の相関が、UFOVの点数との間で正の相関がみられ、サッケードの回数と言語記憶の成績との間で負の相関がみられた。

Slow and front条件では動物園地図課題の成績が固視の継続時間、固視の回数、サッケードの回数と相関していた。またWMS-Rの言語性記憶の成績が固視の回数、サッケードの回数と相関していた。一方、Slow and left条件では、視線移動の尺度と全ての認知機能とで相関が認められなかった。

Fast and front条件では、BADSの動物園地図課題の成績が固視の回数、サッケードの回数と相関していた。また、WMS-Rの視覚性記憶の成績が固視の継続時間と相関していた。一方、Fast and left条件では、視線移動の尺度と全ての認知機能とで相関が確認できなかった。

次に、案内標識内の目的地への視認と机上での文字を読む際の視線移動の相関を条件ごとに表2-3に示す。解析の結果、Slow and left条件とFast and left条件で固視の回数とサッケードの回数に正の相関が確認された。一方、Slow and front条件とFast and front条件では、視線移動の相関がみられなかった。

表 2-3. 文章の読みの際の視線移動と案内標識視認の尺度の相関。

	Slow and front	Slow and left	Fast and front	Fast and left
固視の継続時間	$P = 0.054$	$P = 0.151$	$P = 0.619$	$P = 0.827$
固視の回数	$P = 0.537$	$r = \mathbf{0.773}$ $P = \mathbf{0.014}$	$P = 0.539$	$r = \mathbf{0.716}$ $P = \mathbf{0.030}$
サッケードの振幅	$P = 0.563$	$P = 0.612$	$P = 0.826$	$P = 0.449$
サッケードの回数	$P = 0.650$	$r = \mathbf{0.837}$ $P = \mathbf{0.005}$	$P = 0.378$	$r = \mathbf{0.759}$ $P = \mathbf{0.018}$

注：太字箇所は有意差のあった項目。

2-3-2：4条件間の視認の差異

4条件（Slow and front条件, Slow and left条件, Fast and front条件, Fast and left条件）間の比較の結果を図2-3aから図2-3dに示す。

2-3

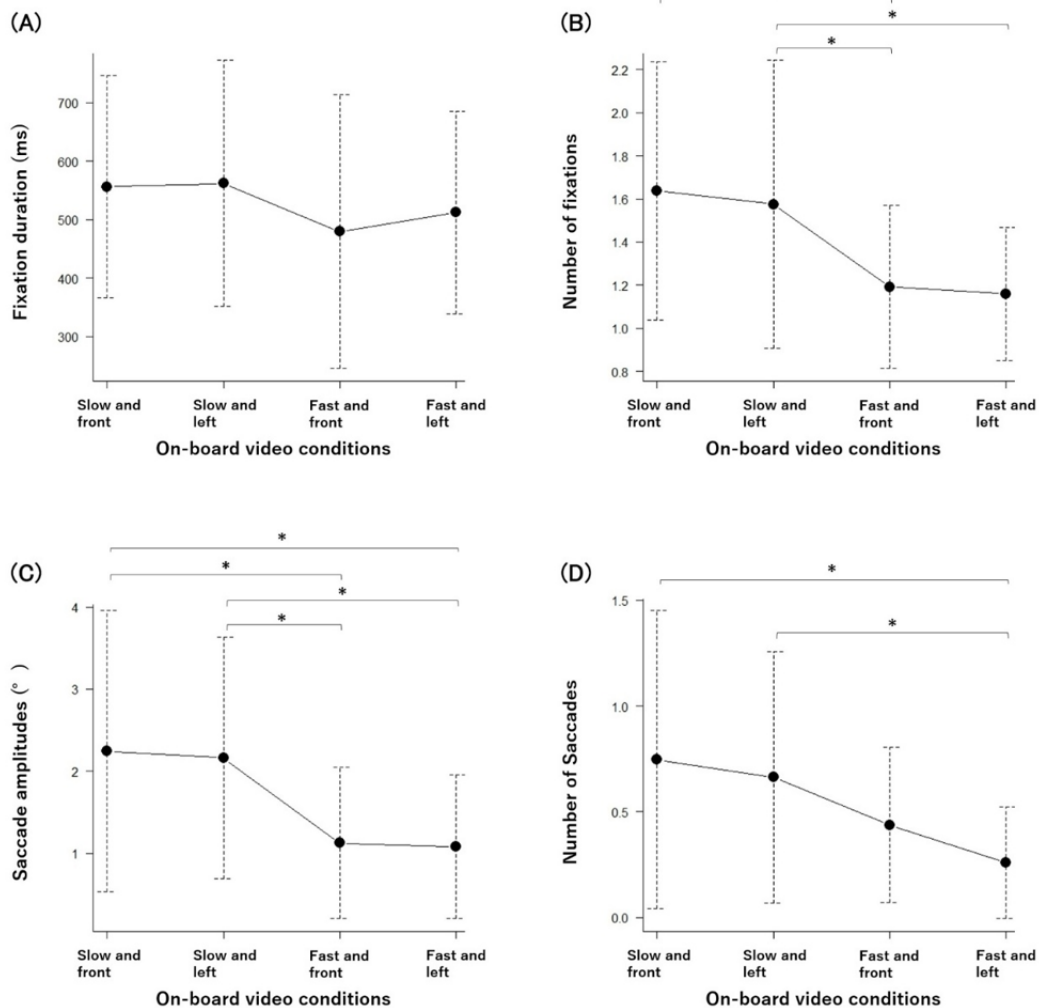


図 2-3. 4 条件間での案内標識内の目的地の視線移動の尺度の比較結果. (A): 固視の継続時間, (B): 固視の回数, (C): サッケードの振幅, (D): サッケードの回数. *は $P < 0.05$ を示す.

図2-3aより, 固視の継続時間は4条件間で差は認められなかった ($P = 0.114$). 図2-3bより, 固視の回数は4条件間で有意差が認められ ($P < 0.001$), 事後比較の結果, Fast and front条件においてSlow and front条件およびSlow and left条件よりも固視の回数が有意に少なかったことが明らかとなった (どちらも $P = 0.003$). 同様に, Fast and left条件ではSlow and front条件 ($P = 0.035$) やSlow and left条件 ($P = 0.012$) と比較して固視の回数が有意に減した.

図2-3cより, サッケードの振幅は4つの条件間で異なることが示され ($P < 0.001$), 事後比較の結果Fast and front条件において, Slow and front条件およびSlow and left条件と比較してサッケードの振幅が有意に小さかったことが示された.

(それぞれ $P = 0.007$, $P = 0.033$) . 同様に, Fast and left条件ではSlow and front条件およびSlow and left条件よりもサッケードの振幅が有意に小さかったことが示された (それぞれ $P = 0.01$, $P = 0.017$) .

図2-3dより, サッケードの回数は4つの条件間で異なることが示され ($P < 0.001$) , Fast and left条件においてSlow and front条件およびSlow and left条件よりも有意に回数が少なかったことが示された (それぞれ $P = 0.013$, $P = 0.002$) .

2-4 考察

本研究では, 様々な運転状況下における案内標識上の目的地視認における視線移動と認知機能およびドライバーの基本属性との関係を調査した. 結果として, 二つの主要な知見が得られた.

第一に, 案内標識が車両の前方に提示された場合, 視認の能力は言語記憶, 視覚性記憶, 計画性, UFOVといった認知機能に関連することが確認された. 第二に, 案内標識が車両の左側に提示された場合, これらの関連は見られず, かわりに年齢や運転歴といった人口統計学的な要因との関連が確認された. これらの知見は, 左側の案内標識の視認は認知機能よりもドライバーの経験に基づくスキルに大きく依存することを示唆している.

さらに, 固視の回数, サッケードの振幅および回数から明らかになったこととして, 運転速度が速く案内標識が左側にある場合, 視認がより困難になることが示された. これは, 運転速度と標識の位置により案内標識の視認に関する知覚的および認知的負荷は変化するという解釈を裏付ける.

2-4-1 案内標識の視認と認知機能・文章の読み・基本属性との関係

認知機能との関連では, 言語記憶が固視およびサッケードの回数と負の相関を示した. 言語的想起能力が高いほど, 目的地名を視認する際の視線移動が少なく, 記憶に基づく効率的な探索を行っていた可能性がある (Loh et al., 2023) . 視覚性記憶は固視の継続時間と負の相関を示し, 特に高速走行時に顕著であった. これは, 視覚性記憶が高い人ほど遠方の標識を迅速に処理できることを示唆するとする先行研究の知見 (Ngernsukphaiboon et al., 2016) と合致する.

UFOVは固視の継続時間と正の相関を示した. これは, 視野内の複数情報を同時に処理し, 標識と周囲環境を長時間把握できる能力を反映していると考えられる (Dukic, Broberg, and Selander, 2017; Mackenzie et al., 2021) . BADS Zoo Map Testによる計画性はすべての視線移動の尺度と正の相関を示し, 遂行機能の高い者ほど広範で構造的な探索を行う傾向がみられた (Anstey et al., 2005) .

これらの相関は案内標識が前方にある条件でのみ認められ, 左側条件では確認されなかった. 一方, 左側条件では年齢と運転歴が固視の継続時間と負の相

関を示し、認知機能よりも経験に基づくスキルに依存していることが示唆された。右側通行の国では左側の情報が知覚されにくいという報告 (Ren et al., 2015) や、課題難易度の上昇により注意の分散が生じるという知見 (Shinohara and Nishizaki, 2017; Vrkljan and Jeleč, 2021) ととも一致する。これらの先行研究は、左側に提示された情報はそもそも知覚的に不利な位置にあり、注意資源が分散しやすい状況ではさらに処理が困難になることを示している。そのため、左側標識を正確に処理するには、視空間的な偏りを補正するような経験依存の視線スキルが必要となり、経験や慣れが処理効率に影響するという本研究の結果と整合的である。

さらに、文章読解時の固視およびサッケードの回数と左側標識の視認のパフォーマンスとの間に負の相関がみられた。日本語の読みと左側標識はいずれも右から左への視線移動を伴うため、方向の一致が影響した可能性がある。一方、前方の標識では視線が下から上へ移動するため、読書時の動態とは無関係であった (Miwa and Dijkstra, 2017)。

これらの結果から、左側の案内標識の視認には高次の認知機能よりも、年齢や運転経験などの人口統計学的特性がより重要な役割を果たしていると考えられる。さらに、以上の相関関係は、視認の尺度の量的増減が視認の成否や優劣を直接示すものではなく、案内標識の提示条件に応じて、どのような認知的・経験的資源が動員されたかという視認過程の違いを反映していると解釈できる。

2-4-2 条件の難易度と案内標識内の視認との関係

本研究の結果、案内標識内の目的地の視認において、固視の回数およびサッケードの振幅と回数の減少から示されるように、高速運転と案内標識の左側への配置が視覚探索行動の減少に繋がることが示された。条件間での視認時間は一定であるにもかかわらず、この視覚探索の抑制は、これらの条件が視認の困難さを増大させた可能性を示唆している。

これらの知見は、刺激提示時間の短縮と視覚的負荷の増加が視線移動を抑制させることを示した先行研究 (Li and Zhang, 2017; Zhou, Yin, and Liu, 2020; Yuen, et al., 2021) と一致している。さらに、提示時間、目的地名の数、レイアウトの位置、およびフォントやフォントサイズがすべて統制されていたため、高速条件における固視・サッケードの減少は視認の容易さではなく、速度に伴う時間的制約が視覚探索を制限した結果であると解釈される。

以上のことから、運転速度の速さと案内標識の左側への配置は視覚的認知負荷を増大させ、探索行動を抑制することは明らかである。視覚的認知行動の変化を「効率性」と解釈することには注意を要する。本研究では、これらの変化はむしろ認知負荷の増大を示す指標として評価される。

2-4-3 研究の限界

本研究にはいくつかの限界がある。第一に、測定対象とした視線移動の種類が固視とサッケードの2種類に限定されていた点である。動いている単語や標識を視認する際には、滑動追従性眼球運動 (smooth pursuit eye movement) が生じることが報告されている (Kitamura et al., 2003; Valsecchi, Gegenfurtner, and Schütz, 2013)。この眼球運動は視角換算で30°/秒程度とサッケードよりも遅く (Arakawa, 2017)、本研究の解析基準では捉えることができなかった。滑動追従は運転中の対象追跡にも関与していることが知られており (Arakawa, 2017; Sudkamp, Bocian, and Souto, 2021)、今後はこれを含めた解析が求められる。

第二に、実験刺激の設定において、運転速度に応じた標識接近の自然な変化を再現することを優先した結果、速度条件間で標識の視認距離および視認開始タイミングを標準化できなかった。本研究で使用した車載動画は、低速条件・高速条件ともに同一の秒数に統一されていた。しかし、高速条件では実際の運転と同様に移動速度が大きいため、同じ再生時間であっても標識から遠い位置で動画が始まるという構造的制約が生じた。この現象は、移動速度と経過時間の関係によって必然的に生じるものであるため、速度条件間における標識の視認距離や視認開始タイミングを、走行速度を変化させたまま完全に統一することは原理的に困難である。この点は、速度条件間の比較における内的妥当性を制約する可能性がある。また、標識サイズや背景の視覚的複雑さ、景観構成などの要因を完全には統制できなかった点も、結果の解釈に影響している可能性がある。今後はこれらの要因を独立変数として厳密に操作し、その影響を定量的に評価する必要がある。

2-5 結論と今後の展望

本研究では、運転中の案内標識視認における視線移動と認知機能の関係を検討し、運転速度および標識位置が視覚的・認知的負荷に及ぼす影響を明らかにした。標識が前方にある条件では、視線移動の尺度が記憶機能や計画性と関連しており、視認動態に認知的特性が反映されることが示された。一方、標識が左側にある条件では、認知機能との関連は認められず、運転経験や視覚探索能力がより大きな役割を果たしていた。さらに、高速走行や左側配置では視認動態の抑制が見られ、情報探索の難易度が高まることが示唆された。これらの結果は、標識配置と運転条件がドライバーの認知的負荷に影響することを示し、標識の設計や支援技術の開発に有用な知見を提供する。

まず、個々の認知特性に応じた支援システムの開発が求められる。前方標識では記憶や計画性などの高次の認知機能が視認動態に強く関与するため、言

語・視覚記憶に障害のある高齢者や精神疾患を有するドライバーには、情報を簡略化した標識や音声案内などの補助が有効と考えられる。また、計画性が低いドライバーに対しては、視線誘導型ヘッドアップディスプレイなどの技術的支援が有用である。

次に、視線制御能力の発達を促す教育的介入も重要である。左側標識の視認には経験と視覚探索能力が関与しており、初心者ドライバーは情報取得が難しい可能性がある。したがって、横方向の標識を想定した視線誘導訓練など、視覚戦略を育成する教育を初期段階から導入することが望ましい。

さらに、標識の設計と配置の最適化も不可欠である。前方設置の標識は安定した視認性を示す一方、左側設置は習熟度に依存するため、すべてのドライバーに均等な情報提供を保証することが難しい。このため、案内標識は原則として走行車線内の前方に設置すべきであり、やむを得ず横方向に配置する場合には、表示内容の簡素化やフォントサイズの拡大など視認性向上の工夫が必要である。

今後は、案内標識視認に必要な認知機能のカットオフ値の検討や、熟練ドライバーの視線戦略を活用した支援技術の開発を通じて、ドライバー特性に応じた交通環境の最適化が期待される。これにより、安全で効率的な運転行動の実現に向けたエビデンスベースの案内標識の設計・政策立案が可能となる。

第3章 研究2：路面標示視認における文字情報形態と視線移動との関連

3-1 研究2の位置づけと検討課題

本研究では、車載動画とアイトラッキング技術を用いて、ドライバーが数字や文字の路面標示をどのように視認しているかを調べた。この研究では、文字の路面標示をひらがな、カタカナ、漢字で構成された標示と定義する。これら二種類の路面標示における固視の動態の違いを分析し、文字数や形態により縦方向に長さが異なる情報の違いによって固視の動態がどのように影響されるのかを検討した。

分析1では、路面標示の視認前、視認中、視認後の固視位置とそのばらつきの違いを調べた。

分析2では、文字情報の視認中の時間を3つ（前半、中盤、後半それぞれ三分之一）に分割し、固視の動態の経時的変化を評価した。

分析3では、先行研究（Feng et al., 2023; Huang et al., 2020）に基づき、固視の継続時間と回数が運転速度および標示内の刺激の数にどのように関連するのかを検討した。

分析4では、案内標識の視認に関する先行研究（Cai et al., 2024）に基づき、固視の動態がドライバーの認知機能および基本属性にどのように関連するのかを調査した。

刺激として、速度制限を示す数字ベースの路面標示と、ドライバーに警告メッセージを伝えるための文字ベースの路面標示の2種類を用いた。本研究は、実際の運転の場面におけるドライバーの視覚探索行動を明らかにする最初の試みであり、特定の仮説を持たず、上記4つの探索的な分析を試みた。

3-2 方法

3-2-1 対象

この章で分析したデータの一部は、第2章で実施した研究のデータと重複する。サンプルサイズは、G*power（Faul et al., 2007）バージョン 3.1.9.7を用いて計算した。統計分析方法は反復測定分散分析（被験者内要因）とし、第一種の過誤が起こる確率を0.05、検出力（ $1 - \beta$ ）を0.8、グループ数を2、測定数を3、効果量を0.3とした。結果として、サンプルサイズは20名と算出された。

本研究の対象者は、研究1で実施された研究の対象者から選択された。取り込み基準は研究1と同様である。

最終的に、20名の対象者がリクルートされた（男性8名、女性12名）。平均年齢は 36.7 ± 13.8 歳（範囲：21～59歳）、平均運転歴は 16.6 ± 14.5 年（範囲：0～40歳）、平均教育歴は 15.4 ± 1.8 年（範囲：12～20歳）だった。

3-2-2 装置

刺激提示モニター（iiyama ProLite B2480HS, Mouse Computer Co., Ltd, Tokyo, Japan）、アイトラッカー（Tobii X60 Eye Tracker; Tobii, Danderyd Municipality, Sweden; サンプリングレート60Hz）、および視線移動の解析ソフト（Tobii Studio version 3.1.6; Tobii）は、研究1で使われたものと同一である。

3-2-3 刺激

データ収集に用いた車載動画は、①数字で書かれた路面標示が出現するもの（数字は”50”で統一）、②文字で書かれた路面標示が出現するもの、の二つの条件を設定した。動画は当初10個ずつ用意されていたが、それぞれの群に一個ずつ固視のデータの取得に不適切なものが含まれていたため9個となった；数字の路面標示の動画においては路面標示が前方の車の下に隠れており、文字の路面標示の動画においては路面標示が一車線に二行にわたって書かれていた。車載動画は対象者の居住地から離れた地域で取得したものであり、馴染みのないものとした。動画は日中に記録されたものであり、車は全ての動画内で法定速度

に従って走行していた。路面標示は数字・文字ともに全て直線道路に設置されていた。

また今回の研究では、路面標示の視認可能時間を設けた。視認可能時間とは、先行研究（Nagami, Wu and Furubayashi, 2022）を基に設定した路面標示の視認距離70mを車載動画内の走行速度で割った値であり、視認距離内で路面標示に対して視線移動を行うことができる時間と定義される。加えて、各動画では、路面標示が車両直下を通過し映像から完全に消失する直前のフレームを基準点として特定した。そのうえで、この基準点から走行速度に応じて70 m手前に相当する時点を求め、そのフレームを視認開始位置とした。これにより、路面標示が読み取り可能な視認距離70mを「開始位置」と「消失位置」により明確に区分し、視認可能時間と合わせて標示の視認の動態を統一的に評価できるようにした。

数字の路面標示の動画と文字の路面標示の動画の詳細はそれぞれ表3-1, 3-2に示す。表に書かれている前方の車の有無という項目に関しては視認可能時間に影響を及ぼさなかった。

表 3-1. 数字の路面標示を視認するための動画の特徴。

	前方の車の有無	視認可能時間（秒）
動画1	あり	1.36
動画2	無し	1.37
動画3	あり	1.34
動画4	無し	1.34
動画5	無し	1.25
動画6	無し	1.5
動画7	無し	1.21
動画8	あり	1.21
動画9	あり	1.35

表 3-2. 文字の路面標示を視認するための動画の特徴.

	前方の車の有無	文字数	書かれた標示	視認可能時間 (秒)
動画1	無し	5	交差点注意	1.52
動画2	あり	9	那須塩原さくら方面	3.32
動画3	あり	4	追突注意	1.45
動画4	あり	5	速度落とせ	1.74
動画5	あり	4	追突注意	1.81
動画6	あり	5	歩行者注意	1.47
動画7	あり	5	カーブ注意	1.76
動画8	無し	4	追突注意	1.48
動画9	あり	5	速度落とせ	1.53

路面標示のフォントサイズは、研究が実施された日本の法律で定められており、数字の場合縦5000mm×横1200mm、文字の場合一文字あたり縦2400mm×横800mm（National Institute for Land and Infrastructure Management 2015）となっている．動画内の路面標示の配置は動画内の路面標示の配置の例を図3-1aと3-1bに示す．

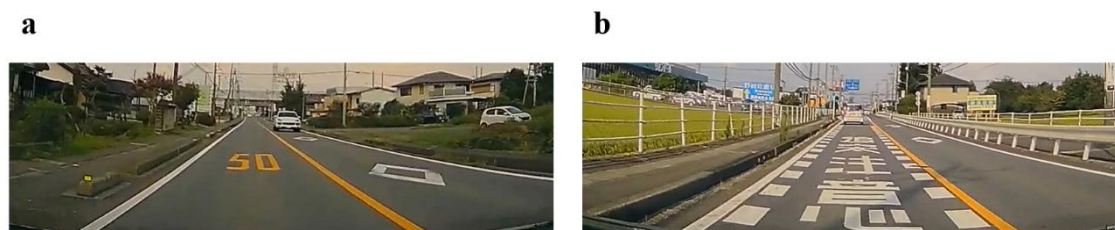


図 3-1. 動画内の路面標示の配置の例. 3-1a. 数字の路面標示. 路面に黄色い文字で”50”と記されている. 3-1b. 文字の路面標示. 路面に白い文字で”追突注意”と記されている.

3-2-4 視認（視線移動）の評価

この研究における視認の評価は、運転（Recarte and Nunes, 2000; Schmidtke, 2019; Shinohara and Nishizaki, 2017; Zhang et al., 2016）や路面標示（Fiolić et al., 2023; Pashkevich et al., 2018）の視認に関する過去の研究に基づき、固視点の位置の平均とそのばらつき、固視の継続時間(ms)と回数とした．なお、研究2においても研究1と同様にサッケードに関する指標を用い、視認時間中およびその前後におけるサッケードの振幅や回数、ならびに視認時間の経過に伴うそれらの変化について検討した．加えて、これらのサッケード指標と運転速度、標示内の文字数、認知機能および年齢や運転歴といった基本属性との関連についても予

備的に解析を行った（解析手法の詳細は「3-2-7 統計学的解析」参照）。その結果、いずれの解析においても有意な差や一貫した関連は認められなかった。

固視点の位置は動画内で視点を向けた位置の座標（x座標，y座標）として表し，単位はpxとした。固視点の位置のばらつきは，固視された領域の範囲の広さであり，固視点の座標（x座標，y座標）の標準偏差として表される。固視の継続時間は運転中に路面標示を注視している時間であり，本研究ではこの時間が長いほど路面標示に注意が長く向いていると解釈する（Babić et al., 2020）。

固視の回数は路面標示を固視した回数であり，数が多いほど対象に対してより多くの注意を向けていると解釈される（Fiolić et al., 2023）。固視の回数が路面標示に向けた注意を反映する。

取り込む固視の基準は研究1で使用したものと同一である。

3-2-5 認知機能の評価

運転に必要な認知機能の評価尺度は，研究1で用いたものと同じである。

3-2-6 データ収集の手続き

データ収集前に対象者が質問用紙への回答と認知機能の評価を受けること，視線移動計測前のキャリブレーションの方法と車載動画を観る際の指示は研究1と同一だった。より自然な運転環境を再現するため，頭部を固定するなどの設定は行わなかった。

対象者は動画を観る前に，路面標示の内容（数字であれば制限速度，文字であればドライバーへのメッセージ）が記された説明文を7秒提示され，その次に固視点として画面の中心に提示された十字を固視した。十字が3秒提示された後，対象者は説明文で提示された路面標示を視認するために車載動画を7秒提示された。対象者が動画を観ている間の固視位置の座標と固視の継続時間，回数がアイトラッカーに記録された。一つの動画が終わると，また別の目的地が説明文で提示され，十字の固視点が提示されたのち別の車載動画が提示された。キャリブレーションは，各動画条件の開始前に行われた。また各条件の終了後，対象者は動画に表示されたすべての路面標示を視認できたかどうかを確認された。

データ収集の環境と流れを図3-2aと3-2bに示す。

a



b

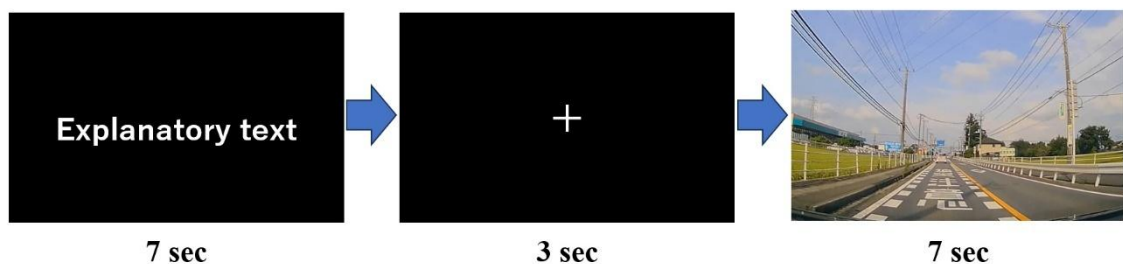


図 3-2. データ収集の環境と流れ. 3-2a. 実際のデータ収集の環境. 3-2b. データ収集の流れの概略図.”Explanatory text” は、動画内で路面標示を視認するように教示したものである. 一つの動画条件の中でこの流れが九回繰り返される.

3-2-7 統計学的解析

3-2-7-1 路面標示視認中およびその前後の固視点の位置の比較

路面標示視認前、視認中、視認後の固視の動態を調べるため、また数字の路面標示と文字の路面標示の間の固視の動態の相違を調べるため、固視位置の平均（x座標とy座標）とばらつきについて反復測定分散分析を実施した. 分析は2つの路面標示の種類（数字と文字）×3つの時間（視認前、視認中、視認後）とし、固視位置の平均（x座標とy座標）の2つ、固視位置のばらつきの平均（x座標とy座標）の2つ、計4つの個別の分析を行った. 交互作用が有意でない場合、主効果が分析された.

視認前の区間は全動画で1秒に統一し、視認中の区間についても表3.2に示す各動画の視認可能時間に基づいて統制した. 一方、視認後の時間はすべての動画で1秒未満だったため（平均：数字のもので0.82秒、文字のもので0.63秒）、一貫した視認後のウィンドウを均一に適用することはできなかった. この問題に

対処するために、本研究では「標識を認識した後、ドライバーは約1秒その位置を見続ける」と仮定して視認後ウインドウを全ての試行に設定した。この仮定は、サッケードの潜時（視覚刺激の提示から、その刺激へ向けてサッケードが起こるまでの時間）が一般に1秒以内であること（Fabius et al., 2020）、および本実験では動画終了後すぐに教示画面が呈示され視線移動の余地が小さいことから、生理学的・課題構造的にも妥当である。また、この仮定により各条件で同じ長さのウインドウを適用でき、条件間比較の公平性を確保できる。

固視位置の平均は固視位置の指標として使用し、固視位置の標準偏差として計算された固視のばらつきは、統計的な分散ではなく、固視の空間的変動（広がり）を示す。Mauchlyの球面性仮定を棄却された場合には、Greenhouse–Geisser補正を用い、多重比較にはBonferroni補正を適用した。

3-2-7-2 路面標示視認時間中における固視点の位置の比較

視認中の固視の動態の変化を評価するため、文字情報視認時間中の固視のデータを前半三分の一、中盤三分の一、後半三分の一に分割した。固視位置の平均（x座標とy座標）とばらつきについて反復測定分散分析を実施した。分析は2つの路面標示の種類（数字と文字）と3つの時間（視認時間前半三分の一、中盤三分の一、後半三分の一）を要因とし、固視位置の平均（x座標とy座標）の2つ、固視位置のばらつきの平均（x座標とy座標）の2つ、計4つの個別の分析を行った。各セグメントの平均継続時間は、数字の場合は 327.25 ± 44.13 ms（範囲：184.6～441.85 ms）、文字の場合は 440.21 ± 121.89 ms（範囲：149.01～584.33 ms）だった。この分析でも交互作用が有意でない場合、主効果が分析された。

3-2-7-3 運転速度や標示の文字数と固視の動態との関係

路面標示視認時の固視の継続時間と回数と運転速度（数字の場合）または警告メッセージの文字数（文字の場合）との関係を調べるために、Pearsonの相関係数を用いて相関分析を行った。運転速度は視認時間を基にして定義された。

3-2-7-4 路面標示視認中の固視の継続時間と回数と基本属性・認知機能との関連

対象者の基本属性や認知機能が路面標示視認時の固視の尺度にどのように影響を及ぼすのかを探索するために、Pearsonの相関係数を用いて、年齢、性別、運転歴、教育歴、注意機能と処理速度、言語記憶、視覚性記憶、UFOVと車載動画を観た際の固視の継続時間と回数との相関分析を行った。BADS Zoo Map Testにおける計画性の点数については、得点が三段階しかなかったため、Spearmanの順位相関係数を用いた。解析は、数字と文字の路面標示について個別に行っ

た.

全ての統計学的解析の有意水準は $P < 0.05$ とし、解析ソフトはEZR version 1.61 (Kanda, 2013) を使用した.

3-2-8 倫理審査

本研究も研究1と同様に北海道大学大学院保健科学研究院倫理審査委員会の承認を得て実施された.

3-3 結果

BADS Zoo Map Testの点数を除くすべての変数は、Kolmogorov–Smirnov検定により正規性が確認された.

3-3-1 路面標示視認中およびその前後の固視点の位置の比較

解析結果として、有意な相互作用が確認されなかったため、路面標示の種類と時間の主効果を個別に検討した.

路面標示視認前、視認中、視認後の固視点の座標の比較の結果を表3-4aに示した. 固視位置のy座標については時間の主効果が認められ ($F(2, 32) = 58.948, P < 0.001$), 視認中の固視位置は視認前後と比較して有意に高かった (いずれも $P < 0.001$). これは、対象者が路面標示視認中に道路のより遠方を固視していたことを示唆している. x座標については、時間の主効果は認められなかった.

路面標示視認前、視認中、視認後の固視点のばらつきの比較の結果について表3-4bに示した. 固視点のx座標におけるばらつきについては、Mauchly検定の結果球面性の仮定が満たされていないことが示された. そのためGreenhouse–Geisser補正を適用したところ、時間の有意な主効果が確認された ($F(1.29, 20.57) = 8.886, P = 0.005, \text{partial } \eta^2 = 0.36$). 多重比較の結果、路面標示視認中の水平方向のばらつきは視認前 ($P = 0.008$) および視認後 ($P < 0.001$) と比較して有意に減少しており、視覚的注意がより集中していることを示唆している. 路面標示の種類や交互作用による有意な主効果は観察されなかった.

表3-4a. 路面標示視認前，視認中，視認後の固視点の座標の比較.

	数字の路面標示			文字の路面標示			主効果		交互作用
	視認前	視認中	視認後	視認前	視認中	視認後	Type	Time	
x座標	900±26	915±10	907±24	919±22	919±11	916±21	$F = 1.703$ $P = 0.21$	$F = 0.758$ $P = 0.477$	$F = 0.818$ $P = 0.45$
y座標	889±17	915±11	870±16	894±15	929±9	867±22	$F = 1.016$ $P = 0.328$	$F = 58.948$ $P < 0.001$	$F = 1.397$ $P = 0.262$

表3-4b. 路面標示視認前，視認中，視認後の固視点のばらつきの比較.

	数字の路面標示			文字の路面標示			主効果		交互作用
	視認前	視認中	視認後	視認前	視認中	視認後	Type	Time	
x座標	50.44± 33.82	27.56± 12.50	51.14± 22.21	51.67±22.75	26.79± 12.10	48.38± 19.05	$F = 0.014$ $P = 0.908$	$F = 8.886^*$ $P = 0.005^*$	$F = 0.036$ $P = 0.926$
y座標	41.26± 12.68	49.90± 20.07	50.77± 21.01	53.79±20.46	46.15± 8.88	46.85± 10.83	$F = 0.074$ $P = 0.789$	$F = 0.026$ $P = 0.974$	$F = 1.38$ $P = 0.266$

NOTE: 太字部分は有意差があった箇所を示す. 「*」はGreenhouse-Geisser補正後の値を示す. 「Type」の主効果は路面標示の種類を比較した場合の値, 「Time」の主効果は時間軸を比較した場合の値, 交互作用は「Type」と「Time」の交互作用を示す.

3-3-2 路面標示視認時間中における固視点の位置の比較

路面標示視認時間中の固視点の座標の比較の結果については表3-5a、路面標示視認時間中の固視点のばらつきの比較の結果については表3-5bに示した。

固視点の位置およびそのばらつきについては、路面標示の種類と時間の間に有意な交互作用は認められなかった。しかし、固視点の位置のy座標については種類と時間の両方の主効果が認められた。対象者は数字の路面標示よりも文字の路面標示のときに固視点の位置を高くした ($F(1,16) = 8.009, P = 0.012, \text{partial } \eta^2 = 0.33$)。固視点の高さは時間経過とともに増加し、Greenhouse–Geisser補正後も時間の主効果が認められた ($F(1.32, 21.10) = 7.806, P = 0.007, \text{partial } \eta^2 = 0.33$)。多重比較の結果、前半三分の一のセグメントと比較し、中盤および後半三分の一での固視位置が有意に高いことが示された（前半対中盤： $P < 0.001$ ，前半対後半： $P = 0.028$ ）。これは、視認時間が経過するにつれて対象者が道路のさらに先、つまり道路のより遠くを見ていることを示している。

時間の主効果は、固視点のx座標のばらつきにおいて観察された ($F = 3.877, P = 0.031$)。前半三分の一のセグメントと比較し、後半三分の一では水平方向のばらつきが減少していた ($P = 0.034$)。これは、視認の終わりに向かって視覚的な集中が路面標示に対して高まったことを示唆している。その他については有意な主効果は確認されなかった。

表 3-5a. 路面標示視認時間中の固視点の座標の比較.

	数字の路面標示			文字の路面標示			主効果		交互作用
	前半 1/3	中盤 1/3	後半 1/3	前半 1/3	中盤 1/3	後半 1/3	Type	Time	
x 座標	912±15	917±10	917±8	917±15	918±10	921±11	$F = 0.349$ $P = 0.563$	$F = 2.694$ $P = 0.083$	$F = 0.409$ $P = 0.668$
y 座標	906±8	920±13	919±22	923±11	930±10	934±9	$F = 8.009$ $P = 0.012$	$F = 7.806^*$ $P = 0.007^*$	$F = 0.616$ $P = 0.485$

表 3-5b. 路面標示視認時間中の固視点のばらつきの比較.

	数字の路面標示			文字の路面標示			主効果		交互作用
	前半 1/3	中盤 1/3	後半 1/3	前半 1/3	中盤 1/3	後半 1/3	Type	Time	
x 座標	39.63± 25.80	25.71± 14.11	17.75± 10.94	32.06± 23.99	24.95± 19.91	23.35±9.78	$F = 0.018$ $P = 0.895$	$F = 3.877$ $P = 0.031$	$F = 0.683$ $P = 0.512$
y 座標	47.33± 14.27	41.69± 6.62	60.69± 57.65	46.87± 11.36	45.87±9.59	45.71±7.14	$F = 0.277$ $P = 0.606$	$F = 0.574$ $P = 0.445$	$F = 0.574$ $P = 0.423$

NOTE: 太字部分は有意差があった箇所を示す. 各セグメント (前半, 中盤, 後半 1/3) の継続時間の平均は, 数字の路面標示で約 327.25 ± 44.13 ms (範囲: 184.6–441.85 ms), 文字の路面標示で約 440.21 ± 121.89 ms (範囲: 149.01–584.33 ms) だった. 「*」は Greenhouse-Geisser 補正後の値を示す. 「Type」の主効果は路面標示の種類を比較した場合の値, 「Time」の主効果は時間軸を比較した場合の値, 交互作用は「Type」と「Time」の交互作用を示す.

3-3-3 視認時間の観点から見た路面標示視認の際の固視の継続時間と回数との関連

数字の路面標示において、固視の継続時間と視認時間との間には有意な正の相関が認められ ($r = 0.719, P = 0.029$)、視認時間が長くなると固視の継続時間も長くなることが示唆された。固視の回数については有意な相関は認められなかった (表3-6a)。文字の路面標示においては、固視の継続時間と刺激の数、すなわち路面標示の文字数との間に有意な正の相関が認められ ($r = 0.911, P < 0.001$)、文章が長いほど持続的な視覚的注意が必要であることが示唆された。固視の回数については有意な相関は認められなかった (表3-6b)。

表 3-6a. 数字の路面標示視認における固視と視認時間との間の相関。

	数字の路面標示
固視の継続時間	$r = 0.719$ $P = 0.029$
固視の回数	$r = -0.25$ $P = 0.517$

表 3-6b. 文字の路面標示視認における固視と刺激数との間の相関。

	文字の路面標示
固視の継続時間	$r = 0.911$ $P < 0.001$
固視の回数	$r = 0.059$ $P = 0.881$

NOTE: 太字部分は有意差があった箇所を示す。

3-3-4 路面標示視認中の固視の継続時間と回数と基本属性・認知機能との関連

数字の路面標示については表3-7aに、文字の路面標示については表3-7bに示した。固視の動態と認知機能および対象者の基本属性との間に、数字および文字のいずれの路面標示についても有意な相関は認められなかった。BADS Zoo Map TestにおけるSpearmanの順位相関係数でも有意な相関は見られなかった。

表 3-4a. 数字の路面標示における固視の指標と対象者の基本属性および運転に必要な認知機との相関.

	固視の継続時間		固視の回数	
	r	P	r	P
年齢	0.122	0.608	0.005	0.984
運転歴	0.106	0.657	0.016	0.948
教育歴	-0.239	0.310	0.361	0.118
TMT-J A	0.055	0.818	-0.053	0.825
TMT-J B	0.119	0.617	-0.086	0.719
WMS-R 言語記憶	-0.309	0.185	0.098	0.681
WMS-R 視覚性記憶	-0.314	0.178	0.254	0.280
BADS Zoo Map Test	-0.383	0.096	0.307	0.188
UFOV 点数	0.027	0.911	-0.255	0.278

表 3.7b. 文字の路面標示における固視の指標と運転に必要な認知機能および対象者の基本属性との相関.

	固視の継続時間		固視の回数	
	r	P	r	P
年齢	-0.292	0.212	0.231	0.326
運転歴	-0.302	0.195	0.246	0.296
教育歴	-0.241	0.306	0.301	0.198
TMT-J A	0.183	0.439	-0.127	0.592
TMT-J B	0.290	0.215	-0.201	0.397
WMS-R 言語記憶	-0.094	0.693	-0.035	0.883
WMS-R 視覚性記憶	-0.165	0.488	0.053	0.824
BADS Zoo Map Test	-0.180	0.448	0.203	0.391
UFOV 点数	-0.071	0.766	0.050	0.834

NOTE: 表にある認知機能検査の正式名称は以下の通りである.

- TMT-J : Trail Making Test – Japanese Version
- WMS-R : Wechsler Memory Scale – Revised
- UFOV : Useful Field of View Test
- BADS : Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome

3-4 考察

本研究では、数字および文字で構成された路面標示の視認過程に着目し、視認前後を含む固視位置の変化と、視認中の時間経過に伴う固視動態を詳細に検討した。特に、本研究では、以下の3点が新たに明らかとなった。(1) 視認中の固視位置は、数字標示よりも縦方向に長い文字標示の方が一貫して高位置に分布すること、(2) 固視位置は視認の進行とともに上方へ移動し、特に後半では標示そのものに対する固視が強まること、(3) 固視動態は運転速度および文字数（情報量）の影響を受けることである。これらの知見を踏まえ、以下では分析の流れに沿って順に考察を加えていく。

3-4-1 路面標示の視認前・視認中・視認後における固視位置およびばらつきの比較

路面標示の固視の動態の分析により、視認前後では固視点は水平方向に分散していたのに対し、視認中は垂直方向に向かい、水平方向の分散が減少していたことが示された。これは、ドライバーが路面標示を見る時は一時的にそれに注意を集中させるが、それ以外の時は周囲の安全を確認するため（例：車両や歩行者の確認）固視点をより広い範囲に分散させる傾向にあることを示唆している（Chapman, Underwood, and Roberts, 2002; Underwood et al., 2002）。更に、路面標示がドライバーの視野の中央に配置されているため、周辺の確認も同時に行うことができ、状況認識をサポートしていると考えられる。

数字や文字の路面標示の視認における視線移動パターンと固視点に差が認められなかった理由として、高輝度・高彩度の色（例：白や黄色）を使用していることが要因として挙げられる（Takahashi and Itoh, 2019）。これらの色特性は標示の視覚認知的な突出性を高め、路面とのコントラストを著しく強くすることで、数字や文字の輪郭や構造を明瞭に知覚しやすくする。その結果、本来であれば文字数や形態の違いによって生じうる認知負荷の差が相対的に小さくなった可能性がある。

3-4-2 視認中の時間経過（前半・中盤・後半）に伴う固視位置およびばらつきの時系列的变化

路面標示の視認時間を三つのセグメントに分割して固視の動態を分析した結果、視認時間の後半三分の一に固視の位置が垂直方向に移動し、水平方向のばらつきが小さくなったことが明らかになった。つまり、視認時間の経過とともに固視が徐々に路面標示に集中することが示唆された。これは、視覚情報処理の“二段階モデル”，すなわち第一段階で目標を特定し、その後第二段階でその目標に焦点を合わせる（Hoffman, 2008; Pomplun, 1998; Velichkovsky et al., 2003）と

いう処理方法に整合している。本研究における視認時間の三つのセグメントの平均時間（数字：327 ms；文字：449 ms）は、このモデルで説明されている処理時間と一致しており、視認時間の前半から中盤で目標の位置を特定することから始まり、視認時間の後半で目標に対する注意の集中に移行する視認の過程を示唆している。

対象者は視認時間全体を通じて、数字の路面標示よりも文字のものを高い位置で固視していた。これは、文字の路面標示の方が縦に長く、より多くの情報を含んでいるためだと考えられる。文字の路面標示は4文字から9文字で構成されており、より詳細な視認を必要としたが、数字の路面標示は二桁の数字のみで構成されていた。更に文字の路面標示は配置の目的が明確であるため、注意を向けやすかった可能性がある。これらのことから、文字の路面標示は意味が明確で予測しやすいため、対象者は最初の文字を見ただけでそのメッセージを理解したことが考えられる。

3-4-3 運転速度や情報量が路面標示の固視の動態に与える影響

さらに本研究の結果は、運転速度や路面標示に含まれる情報量が固視の動態、特に固視の継続時間に影響を与えることを示唆した。具体的には、数字の路面標示の視認時間が長くなる、すなわち運転速度が遅くなるほど固視の継続時間が長くなる。これは、固視の継続時間の変化が単に時間の長さだけでなく、認知負荷や処理の複雑さに関連した注意の質的な変化を反映していることを示唆している。これは、運転速度が速いほど固視の継続時間が短くなることを示した先行研究（Buzon et al., 2021）と一致する。また文字の路面標示において、文字数が多い、すなわち情報量が多いほど、固視の継続時間が長くなることが示された。文字数が多い単語はより長い文字チャンクとなり、複雑な視覚処理を必要とするため固視の継続時間が長くなる語長効果という現象が現れる

（Hautala, Hyönä, and Aro, 2011; McDonald, 2006）が、本研究でも似たような傾向が観察された。

これらの結果は、路面標示の設計においては、運転速度と路面標示に含まれる情報量の両方を考慮する必要があることを示している。特に、短くシンプルな標示は高速走行時に認識されやすい傾向がある一方、やや詳細な標示は低速走行時に有効である可能性がある。

3-4-4 認知機能と基本属性が路面標示視認に与える影響

本研究において、ドライバーの認知機能および基本属性のいずれも路面標示の視認とは相関しないことが示された。これは、ドライバーは豊富な運転経験や大きな認知的努力を必要とせずに路面標示を視認できることを示唆している。

NASA-TLX: NASA Task Load Index (Hart and Staveland, 1988) のような作業負荷を評価する尺度は使用しなかったが、車載動画を用いた実験環境には視認時の認知負荷を軽減させる可能性がある要因が含まれていた。考えられる要因として、本研究で使用された路面標示はすべて直線道路上に設置されており、直線道路では運転中の認知負荷が低いことが知られている (Nagy et al., 2023) ことが挙げられる。更に数字と文字の路面標示のフォントサイズは、数字は高さ5000mm, 幅1200mm, 文字は高さ2400mm, 幅800mm (Nagami, Wu and Furubayashi, 2023) と大きくなっていることも要因として挙げられる。これは、遠くからでもそれらを容易に認識できうることを意味しており、ドライバーの認知機能や基本属性にかかわらず、路面標示の認識を容易にした可能性がある。したがって、本研究のデータ収集条件は認知負荷を最小限に抑えた可能性があり、これが認知機能の尺度との有意な相関が見られなかった理由を説明できる可能性がある。

3-4-5 研究の限界

本研究にはいくつかの限界がある。第一に、路面標示視認中の固視動態と認知機能・基本属性との間に有意な相関が認められなかった点である。このことは、路面標示が直線道路上に設置され、課題の認知的負荷が比較的低かったことが要因として挙げられる。本研究ではNASA-TLX (Hart and Staveland, 1988) などの主観的評価指標を用いた認知負荷の定量的評価を行っていなかったため、今後は定量的な負荷指標を併用したうえで、適切な認知負荷を有する課題設定が求められる。

第二に、本研究で使用した路面標示には「速度落とせ」など意味を持つメッセージが含まれていたが、これらの意味的差異が固視の動態に与える影響は検討していなかった。先行研究では、このような標示が瞳孔径の変化など情動的反応を伴うことが報告されており (Yang et al., 2019), 感情的・顕著性に基づく注意誘導メカニズムが関与している可能性がある。今後は、減速を促すメッセージや中立的な標示など、意味カテゴリーを明確に区分して比較検討することで、意味的要因の影響をより正確に評価する必要がある。

3-5 結論と今後の展望

本研究で得られた結果は、ドライバーが路面標示を視認する前に、連続的な固視の動態を示すことを示唆した。視認の初期段階ではドライバーは標示とその周囲を広く見渡し、後期段階では標示自体に焦点を合わせる2段階の視線移動戦略を用いていることが確認された。路面標示のデザインは、この視線移動パターンに基づいた自然な視覚的注意の推移に沿っている必要がある。複数の情

報が含まれる場合、最初の視認のためにシンプルなキーワードや記号を路面標示の中央もしくは下部に配置し、詳細な指示は上部に配置することで、ドライバーの固視位置を考慮し、集中が高まるにつれて理解しやすくする必要がある。また、路面標示視認中には、特に文字情報において、固視が上方に移動する傾向があるため、文字の路面標示における特に重要な情報（例：「止まれ」や「交差点注意」）は、自然な固視を促すために上方に配置する必要がある。逆に補足的な情報（例：距離表示や説明文）は、視線移動のパターンに合わせて下部に配置することが有用であるかもしれない。

第4章 総合考察

本研究では、運転中に提示される文字情報（案内標識・路面標示）に対する視線移動の動態を明らかにし、それが運転状況やドライバーの認知機能、基本属性とどのように関係するかを探索的に検討した。

本研究全体を総合すると、運転中の文字情報の視認特性は、情報が提示される位置と走行速度という二つの環境要因の影響を強く受けることが示された。案内標識では、標識の水平方向の配置が視線探索の広がりの規定し、路面標示では文字の上下方向の提示形式が固視位置の分布を決定づけていた。また、両者に共通して、運転速度の上昇は視線探索量を抑制し、視認処理に要する認知的余裕を低下させる方向に作用していた。すなわち、視認性は文字の大きさや形状のみではなく、「どこに提示され、どの速度で走行しているか」という状況要因との相互作用によって体系的に形成されることが示唆された。

さらに、視線移動に関連するドライバー側の要因については、情報提示媒体により異なる傾向を示した。案内標識の視認においては、前方提示の場合には言語・視覚性記憶、計画性、UFOVが視線移動の指標と有意に関連した一方、側方提示では年齢や運転経験が主要な関連要因となっていた。この結果は、側方の案内標識の認識には高度な技能が求められ、認知機能よりも運転スキルや経験に依存する処理様式が強く関与する可能性を示唆するものである。一方で路面標示においては、認知機能や基本属性はいずれの視認指標とも有意な関連を示さず、ドライバーは比較的自動的かつ低負荷で路面標示を認識できている可能性が示された。

4-1 情報提示位置と視認特性の統合的理解

本研究の結果、文字情報の提示位置は視認の様相を決定づける主要な要因であることが明らかになった。ただし、その影響の現れ方は案内標識と路面標示で異なる。案内標識の視認課題では、標識が車両前方に提示されている場合に

は視線移動が比較的活発であった。一方、標識が左側に配置されている場合には、これらの指標が一貫して減少しており、視覚探索が制限されることが示された。この結果は、左側配置の案内標識では、前方監視との注意配分の調整が必要となり、探索を展開する余裕が生じにくくなることを反映していると考えられる (Marciano & Yeshurun, 2015)。また、標識の位置以外の条件（目的地名の数、フォントやレイアウト、提示時間）が統制されていたことから、この視線移動量の減少が効率性の向上ではなく、視認困難性の増大を示すと解釈することが妥当である。

路面標示では、情報の提示位置は上下方向の構造として表れていた。固視点の動態を分析した結果、視認時間の経過とともに固視位置が垂直方向へと移動し、水平方向のばらつきが縮小した。これは、路面標示の視認が、周囲の走行状況の監視と標示への情報処理の切り替えによって段階的に進むことを示唆するものであり、案内標識のような空間探索型の視認とは異なる特徴を示していた。また、文字の路面標示では数字のものより固視位置が高くなる傾向が示されており、これは単語が縦方向に長く情報量が多いことに対応した視線制御であると考えられる (Joseph et al., 2009)。

以上を踏まえると、本研究で明らかになった位置の影響は、案内標識では水平方向の提示位置（前方／側方）に帰着し、路面標示では文字列の上下方向の構造に帰着していたといえる。この違いは、提示された情報内容の差異というよりも、案内標識と路面標示における情報提示構造の違いに起因すると考えられる。すなわち、文字情報の視認において「位置」が果たす役割は、単一のメカニズムに還元できるものではなく、情報提示媒体の構造に応じて異なる形で視線移動の動態に現れることが明らかとなった。

4-2 運転速度が視線移動に及ぼす影響

本研究の結果、運転速度は文字情報の視認における視線移動を規定する主要な要因であり、その影響の表れ方は案内標識と路面標示で異なることが示された。まず案内標識においては、提示時間が条件間で統一されていたにもかかわらず、高速運転条件では固視の回数およびサッケードの振幅と回数が一貫して減少していた。この視線移動の抑制は、視認が容易になったことを示すのではなく、むしろ高速走行によって確保できる視覚的处理時間が短縮され、探索を十分に展開できなかったことを反映していると解釈される (Buzon et al., 2021)。特に、高速走行条件と案内標識の左側配置が組み合わさった状況では、視覚探索の抑制が最も顕著であった。これらの結果は、路上環境の監視や車両操作の優先度が高まることによって、標識探索のための認知資源が制限され、視線移動が抑圧される可能性を示唆している (Ma et al., 2020)。

一方、路面標示においては、運転速度は主として固視の継続時間に反映されていた。数字の路面標示を対象とした分析では、走行速度が遅く視認時間が長い条件ほど固視の継続時間が延長しており、処理時間に余裕がある状況ほど路面標示に対してより精緻な視覚処理が行われている可能性が示された。同様に、速度が上がると固視の継続時間が短縮しており、視線を路面標示に向けられる持続時間が制限されることが示唆された (Buzon et al., 2021)。また、文字の路面標示では、運転速度に加えて文字数が固視の継続時間に影響していた。文字数が多い路面標示ほど固視の継続時間が長くなっており、情報量の多さが処理負担として表出していたと考えられる (Joseph et al., 2009)。

以上より、運転速度は案内標識に対しては固視およびサッケードを抑制する方向に作用し、路面標示に対しては固視の継続時間を調整する方向に作用することが示された。すなわち、高速走行は探索の展開を制限し、低速走行はより長い固視を可能にすることが示唆されるなど、速度がどの程度視認に余裕を与えるかが視線移動の変化として表れていた。

4-3 ドライバー特性が視認に及ぼす影響の相違

本研究では、ドライバーの認知機能および基本属性が文字情報の視認にどのように寄与しているかを検討した。その結果、案内標識と路面標示ではドライバー側要因の表れ方が異なることが明らかになった。案内標識においては、標識が前方に配置されている場合に限り、言語記憶、視覚性記憶、遂行機能 (BADS Zoo Map Testによる計画性)、およびUFOVといった高次の認知機能が視線移動の尺度と有意な関連を示していた。具体的には、言語記憶が高いドライバーほど固視およびサッケードの回数が少なく (Loh et al., 2023)、視覚性記憶の高いドライバーほど固視の継続時間が短く (Ngernsukphaiboon et al., 2016)、標識に含まれる文字・語句をより迅速に処理している可能性が示唆された。また、計画性 (Anstey et al., 2005) およびUFOV (Dukic, Broberg, and Selander, 2017; Mackenzie et al., 2021) が高いドライバーでは固視の継続時間が長く、標識と周囲環境を統合的に把握する探索パターンが表れていた。

一方、案内標識が左側に配置された条件ではこれらの認知機能との関連は認められず、年齢および運転歴といった人口統計学的要因が視線移動の尺度と負の相関を示していた。すなわち、経験の豊富なドライバーほど側方案内標識の認識を短時間で行っていたことが示唆され、高次の認知処理よりも運転経験に基づくスキルが優位に寄与していたと考えられる (Shinohara and Nishizaki, 2017; Vrkljan and Jeleć, 2021)。また、文章読解時の視線移動と左側標識の視認との間に負の相関がみられたことから、日本語の右から左への読みの方向性 (Obana, 1997) と左側標識の探索方向の一致が影響している可能性も指摘できる。

そして本研究で使われた案内標識では、対象者にとって見慣れない地名を含む文字情報が提示されていた。そのため、単純な探索にとどまらず、記憶内の語の同定や意味処理を伴う視認が必要となり、認知機能や基本属性に基づく個人差が、視線移動の様相に反映された可能性がある。

これに対して路面標示では、認知機能および基本属性のいずれも視認指標と有意な関連を示さなかった。この結果は、直線道路（Nagy et al., 2023）・大きなフォントサイズ（Nagami, Wu and Furubayashi, 2023）・高視認性の色（Takahashi and Itoh, 2019）、そして案内標識内の地名と比較して見慣れた数字や警告メッセージといった実験条件下では、ドライバーは認知的負荷や経験の多寡にかかわらず路面標示を自動的に処理できていた可能性を示唆する。

4-4 総合的な研究限界

本研究全体を通して、いくつかの共通した方法論的限界が存在する。第一に、両研究とも刺激として車載動画を用いたため実際の運転環境とは異なり、ドライバー自身が速度や進行方向を能動的に制御する要素を含まなかった。このため、現実の運転中に見られる動的な注意配分や認知負荷の変動を完全に再現しているとは言えない（Martens and Fox, 2007; Mackenzie and Harris, 2014）。今後は、VRやドライビングシミュレータ、実車環境を用いて、アクセルやブレーキ、ハンドル操作といった運転操作を伴う能動的制御下における視認の動態を検証し、本研究で得られた知見の再現性や差異を検討することが望まれる。

第二に、両研究におけるサンプルサイズはG*Powerにより事前に設定されたものの、中程度から小さい効果量を検出するには統計的検出力が十分ではなかった可能性がある。そのため、一部の潜在的に意味のある効果が検出されなかった可能性を否定できない。加えて、本研究のサンプルには女性が多いという偏り（女性16名、男性8名）がみられた。令和6年度交通安全白書（内閣府, 2024）によると、日本のドライバー人口の男女比はおよそ6:4であるため、本サンプルは一般的な人口構成を完全には反映していない。この偏りが主要な結果に影響を及ぼした可能性は低いものの、一般化の際には留意が必要である。今後は、より大規模なサンプルを用いた研究を通じて、結果の再現性および一般化可能性を高める必要がある。

以上の点を踏まえると、本研究の発見はあくまで予備的なものであり、今後はより現実的な運転状況に近い環境下で、統制の取れた条件設定と十分な統計的検出力を確保した検証的研究を進めることが求められる。

4-5 研究結果から考えられる交通設計・支援への応用

本研究の知見は、運転中の文字情報の視認が提示位置と走行速度に大きく依

存し、案内標識と路面標示で異なる認知処理機構に基づいていることを示した。これらの知見は、道路設計・情報提示・ドライバー支援の三つの領域に応用可能である。

まず道路設計の観点では、案内標識の視認においては認知的処理負荷が高くなる場面が存在するため、特に側方配置では情報量の抑制、文字サイズの強調、情報の階層化、進路選択に関係する情報の優先提示など、処理負荷の軽減を指向した配置・デザインが有用である可能性がある。またやむを得ず情報量が多くなる場合は、中央線上に位置するように配置自体を変更し、追い越し車線からでも視線の偏りを軽減できうる構造にすることも考えられる。一方で路面標示については、周囲環境の確認から標示への注意集中へと移行する二段階的かつ自動的な視覚処理が行われやすい特性を踏まえると、短時間の固視で意味が把握できる色調・配置・文字長の最適化が、安全性の向上に寄与しうる可能性がある。

また、ドライバー教育の観点でも応用可能性がある。案内標識の側方配置では、認知機能よりも運転経験との関連が強かったことから、初心者ドライバーや高齢ドライバーにおいては、側方情報への注意配分や視線誘導を促す訓練の導入が考えられる。加齢や認知機能の変化が視認支援の必要度を高める可能性があることを踏まえると、運転継続支援の一環として、視線制御や注意切り替えを扱う眼球運動トレーニングが有効となる可能性もある。

さらに、安全運転支援技術への展開も期待できる。本研究は静的提示条件下での成果ではあるものの、運転速度や提示位置に応じて視線移動が周期的に変動することが示されたため、今後は走行速度や標識位置の変化を検知し、提示情報の強調や音声案内の切り替えを行う動的アシストシステムの設計に寄与しうる。これにより、運転者が年齢や認知特性にかかわらず情報を取得しやすい交通環境を構築できると考えられる。

ただし、本研究の成果は車載動画を用いた条件下で得られた予備的な知見であり、示唆や可能性にとどまる。ここで述べた応用可能性は今後の検証研究によって裏付けられる必要がある。

第5章 結論

本研究は、運転中に提示される文字情報の視認に関わる視線移動を、案内標識および路面標示という異なる情報提示媒体を通して検討し、情報提示条件とドライバーの認知特性との関係を明らかにした。

その結果、視線移動は提示位置や運転速度により異なる認知的メカニズムに基づくことが示された。案内標識では、記憶機能や計画性といった高次の認知

機能が視認動態に反映され、情報の位置や複雑さが認知負荷に影響することが確認された。一方、路面標示では、文字列の縦方向の長さ（数字／文字）という提示構造の違いが固視位置の高さを規定し、走行速度が探索量を決定づける主要因となっていた。路面標示の視認特性は、提示位置に相当する“文字列の縦方向の構造”と速度条件との相互作用から形成されることが示唆された。

これらの知見は、運転中の文字情報の提示位置・内容構造がドライバーの認知的・視覚的特性に応じて最適化される必要があることを示している。案内標識では情報量や配置の簡素化、音声案内との併用などによる認知負荷の軽減が、路面標示においては、文字列の長さ・情報量に応じて視認しやすい縦方向配置や強調方法を採用することが有効である。

本研究は、視線移動と認知機能の関係を体系的に明らかにし、安全運転を支援するための制度設計に基礎的エビデンスを提供した。今後は、男女比を均一化し、より高齢な対象者を含む大規模サンプルを用いた検討に加え、精神疾患や高次脳機能障害を有する者を対象とした研究など、より実践的かつ多様な条件下での研究が求められる。

第6章 謝辞

本論文の作成にあたり、指導教員として本論文の作成にあたり論文執筆のご指導・ご指摘、本論文の副査をしてくださいました北海道大学大学院保健科学研究院リハビリテーション科学分野、澤村大輔教授に深く感謝申し上げます。同じく、研究計画の立案から刺激の作成、対象者の募集、論文執筆に至るまであらゆる場面で多大なるご指導やご支援をしてくださいました北海道大学大学院保健科学研究院リハビリテーション科学分野、岡田宏基助教に深く感謝申し上げます。

本論文の主査を引き受けてくださいました北海道大学大学院保健科学研究院健康科学分野の横澤宏一教授、ならびに本論文の副査を引き受けてくださいました北海道大学大学院保健科学研究院創成看護学分野の蝦名康彦教授には、建設的なご意見を賜りましたことを深く感謝申し上げます。

また、研究計画の立案に際してご指導して下さった仙台青葉学院大学リハビリテーション学部、平山和美教授に厚く御礼申し上げます。

本論文のデータ収集に参加していただいた対象者の皆様にはご協力に深く感謝申し上げます。

最後に、長期間にわたって学生生活を支えてくれた家族に、この場を借りて深く感謝申し上げます。

参考文献

- AIHARA, Yoshitaka, et al. "Evaluation of Judgment Ability and Driving Characteristics of Elderly Driver to Traffic Guide Sign." *INFRASTRUCTURE PLANNING REVIEW* 18 (2001): 963-970.
- Anstey, Kaarin J., et al. "Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults." *Clinical psychology review* 25.1 (2005): 45-65.
- Arakawa, Toshiya. "Driver attention based on eye-movement and time-series analysis-concept of driver state detection devices." *American Journal of Mechanical Engineering* 5.1 (2017): 18-23.
- Babić, Darko, et al. "Effect of road markings and traffic signs presence on young driver stress level, eye movement and behaviour in night-time conditions: a driving simulator study." *Safety* 6.2 (2020): 24.
- Balasubramanian, Venkatesh, and Sathish Kumar Sivasankaran. "Analysis of factors associated with exceeding lawful speed traffic violations in Indian metropolitan city." *Journal of Transportation Safety & Security* 13.2 (2021): 206-222.
- Biedermann, Falko, et al. "Driving fitness in clinically stable outpatients with chronic schizophrenia." *Comprehensive Psychiatry* 118 (2022): 152340.
- Bohua, Liu, Sun Lishan, and R. O. N. G. Jian. "Driver's visual cognition behaviors of traffic signs based on eye movement parameters." *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 11.4 (2011): 22-27.
- Borowsky, Avinoam, David Shinar, and Tal Oron-Gilad. "Age, skill, and hazard perception in driving." *Accident analysis & prevention* 42.4 (2010): 1240-1249.
- Bottari, Carolina, et al. "Driving difficulties and adaptive strategies: the perception of individuals having sustained a mild traumatic brain injury." *Rehabilitation research and practice* 2012.1 (2012): 837301.
- Buzon, Luiz Gustavo, et al. "Effect of speed on driver's visual attention: a study using a driving simulator." *Transportation in developing economies* 8 (2021): 1-11.
- Cai, Jing, et al. "How do design factors of stacked directional signs affect their visual cognition?." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 107 (2024): 760-774.
- Campbell, J. L. *Human Factors Guidelines for Road Systems*. Vol. 600, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2012.
- Cantwell, Stephen James, Robert B. Isler, and Nicola J. Starkey. "The effects of road commentary training on novice drivers' visual search behaviour: A preliminary

- investigation." ACRS, 2013.
- Chapman, Peter R., and Geoffrey Underwood. "Visual search of driving situations: Danger and experience." *Perception* 27.8 (1998): 951-964.
- Chapman, Peter, Geoffrey Underwood, and Katharine Roberts. "Visual search patterns in trained and untrained novice drivers." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 5.2 (2002): 157-167.
- Cheng, Andy SK, Terry CK Ng, and Hoe C. Lee. "A comparison of the hazard perception ability of accident-involved and accident-free motorcycle riders." *Accident Analysis & Prevention* 43.4 (2011): 1464-1471.
- Chihuri, Stanford, et al. "Driving cessation and health outcomes in older adults." *Journal of the American Geriatrics Society* 64.2 (2016): 332-341.
- De Ceunynck, Tim, et al. "Proactive evaluation of traffic signs using a traffic sign simulator." *European journal of transport and infrastructure research* 15.2 (2015).
- Di Stasi, Leandro L., et al. "A cross-cultural comparison of visual search strategies and response times in road hazard perception testing." *Accident Analysis & Prevention* 148 (2020): 105785.
- Du, Jianwei, et al. "How is the visual working memory load of driver influenced by information density of traffic signs?." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 86 (2022): 65-83.
- Dukic Willstrand, Tania, Thomas Broberg, and Helena Selander. "Driving characteristics of older drivers and their relationship to the useful field of view test." *Gerontology* 63.2 (2017): 180-188.
- Edemekong, Peter F., et al. "Activities of daily living." (2019).
- Egeto, Peter, et al. "A systematic review and meta-analysis on the association between driving ability and neuropsychological test performances after moderate to severe traumatic brain injury." *Journal of the International Neuropsychological Society* 25.8 (2019): 868-877.
- Eramudugolla, Ranmalee, et al. "Effect of speed of processing training on older driver screening measures." *Frontiers in aging neuroscience* 9 (2017): 338.
- Fabius, Jasper H., et al. "Low-level visual information is maintained across saccades, allowing for a postsaccadic handoff between visual areas." *Journal of Neuroscience* 40.49 (2020): 9476-9486.
- Faul, Franz, et al. "G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences." *Behavior research methods* 39.2 (2007): 175-191.
- Feng, Jing, et al. "Age differences in driver visual behavior and vehicle control when

- driving with in-vehicle and on-road deliveries of service logo signs." *International Journal of Industrial Ergonomics* 93 (2023): 103386.
- Fiolić, Mario, et al. "Effect of road markings and road signs quality on driving behaviour, driver's gaze patterns and driver's cognitive load at night-time." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 99 (2023): 306-318.
- Fricke, Janet, and Carolyn Unsworth. "Time use and importance of instrumental activities of daily living." *Australian Occupational Therapy Journal* 48.3 (2001): 118-131.
- Gerth, Sabrina, and Julia Festman. "Reading development, word length and frequency effects: An eye-tracking study with slow and fast readers." *Frontiers in Communication* 6 (2021): 743113.
- Göbel, Silke M., et al. "Language affects symbolic arithmetic in children: the case of number word inversion." *Journal of experimental child psychology* 119 (2014): 17-25.
- Gross, Frank B., et al. *Safety evaluation of STOP AHEAD pavement markings*. No. FHWA-HRT-08-043. United States. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Office of Safety, 2007.
- Han, Lei, et al. "Analysis of traffic signs information volume affecting driver's visual characteristics and driving safety." *International journal of environmental research and public health* 19.16 (2022): 10349.
- Hardcastle, Cheshire, et al. "Higher-order resting state network association with the useful field of view task in older adults." *GeroScience* (2022): 1-15.
- Hart, Sandra G., and Lowell E. Staveland. "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research." *Advances in psychology*. Vol. 52. North-Holland, 1988. 139-183.
- Hatsusaka, Natsuko, et al. "Relationship Between Reading Performance Of The Elderly And Eye Movements." *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 53.14 (2012): 4859-4859.
- Hautala, Jarkko, Jukka Hyönä, and Mikko Aro. "Dissociating spatial and letter-based word length effects observed in readers' eye movement patterns." *Vision research* 51.15 (2011): 1719-1727.
- Havránek, Pavel, et al. "How does road marking in horizontal curves influence driving behaviour?." *European transport research review* 12 (2020): 1-11.
- Hoffman, James E. "Stages of processing in visual search and attention." *Stratification in cognition and consciousness*. John Benjamins Publishing Company, 2008. 43-72.

- Huang, Lihua, et al. "Quantitatively exploring the relationship between eye movement and driving behavior under the effect of different complex diagrammatic guide signs." *Cognition, Technology & Work* 22.2 (2020): 373-388.
- Hudak, Elizabeth M., et al. "Dynamic useful field of view training to enhance older adults' cognitive and motor function: a pilot study." *Journal of Cognitive Enhancement* 5.4 (2021): 411-419.
- Huestegge, Lynn, and Anne Böckler. "Out of the corner of the driver's eye: Peripheral processing of hazards in static traffic scenes." *Journal of vision* 16.2 (2016): 11-11.
- Ishiai, S., S. Umeda, and M. Funayama. "Trail Making Test, Japanese Edition (TMT-J)." *Shinkoh Igaku Shuppan Co., Ltd., Tokyo* (2019).
- Isler, Robert B., Nicola J. Starkey, and Amy R. Williamson. "Video-based road commentary training improves hazard perception of young drivers in a dual task." *Accident Analysis & Prevention* 41.3 (2009): 445-452.
- Joseph, Holly SSL, et al. "Word length and landing position effects during reading in children and adults." *Vision Research* 49.16 (2009): 2078-2086.
- Kaber, David, et al. "Driver behavior in use of guide and logo signs under distraction and complex roadway conditions." *Applied ergonomics* 47 (2015): 99-106.
- Kanda, Yoshinobu. "Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics." *Bone marrow transplantation* 48.3 (2013): 452-458.
- Kinoshita, Masayuki, et al. "Simplified vehicle vibration modeling for image sensor communication." *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences* 101.1 (2018): 176-184.
- Kotseruba, Iuliia, and John K. Tsotsos. "Behavioral research and practical models of drivers' attention." *arXiv preprint arXiv:2104.05677* (2021).
- Krejtz, Izabela, Agnieszka Szarkowska, and Maria Łogińska. "Reading function and content words in subtitled videos." *Journal of deaf studies and deaf education* 21.2 (2016): 222-232.
- Ledger, Selena, et al. "Cognitive function and driving: Important for young and old alike." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 60 (2019): 262-273.
- Lee, Jong Hak, et al. "The effects of pavement markings on high-risk drivers' speeds." *Journal of the Korean Society of Road Engineers* 15 1 (2013): 127-134.
- Lee, Samantha Sze-Yee, Joanne M. Wood, and Alexander A. Black. "Blur, eye movements and performance on a driving visual recognition slide test." *Ophthalmic and physiological optics* 35.5 (2015): 522-529.
- Li, Lidong, and Qingnian Zhang. "Research on visual cognition about sharp turn sign

- based on driver's eye movement characteristic." *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence* 31.07 (2017): 1759012.
- Li, Shi-wu, et al. "Study on the influence of driving experience on visual characteristic." *Advances in Mechanical Engineering* 5 (2013): 790813.
- LI, Yang, et al. "Comprehensive evaluation method of recognition complexity of interchange diagrammatic guide signs." *Journal of Beijing University of Technology* 45.4 (2019): 366-374.
- Lipskaya-Velikovsky, Lena, et al. "Car driving in schizophrenia: can visual memory and organization make a difference?." *Disability and rehabilitation* 35.20 (2013): 1734-1739.
- Liu, Bohua, Lishan Sun, and Jian Rong. "Analysis on the influence of traffic guide sign information to driving behavior." *ICCTP 2011: Towards Sustainable Transportation Systems*. 2011. 2513-2522.
- Loh, Zoe, et al. "Working memory control predicts fixation duration in scene-viewing." *Psychological Research* 87.4 (2023): 1143-1154.
- Ma, Yanli, et al. "Drivers' visual attention characteristics under different cognitive workloads: An on-road driving behavior study." *International journal of environmental research and public health* 17.15 (2020): 5366.
- Mackenzie, Andrew K., et al. "The Multiple Object Avoidance (MOA) task measures attention for action: Evidence from driving and sport." *Behavior research methods* (2021): 1-22.
- Mackenzie, Andrew K., and Julie M. Harris. "Characterizing visual attention during driving and non-driving hazard perception tasks in a simulated environment." *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. 2014.
- Maeyama, Takaya, Hiroki Okada, and Daisuke Sawamura. "Sequential Fixation Behavior in Road Marking Recognition: Implications for Design." *Journal of Eye Movement Research* 18.5 (2025): 59.
- Mahanama, Bhanuka, et al. "Eye movement and pupil measures: A review." *frontiers in Computer Science* 3 (2022): 733531.
- Marciano, Hadas, and Yaffa Yeshurun. "Perceptual load in different regions of the visual scene and its relevance for driving." *Human factors* 57.4 (2015): 701-716.
- Martens, Marieke H., and Micah Fox. "Does road familiarity change eye fixations? A comparison between watching a video and real driving." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 10.1 (2007): 33-47.
- McDonald, Scott A. "Effects of number-of-letters on eye movements during reading are

- independent from effects of spatial word length." *Visual Cognition* 13.1 (2006): 89-98.
- McKenna, Frank P., and Mark S. Horswill. "Hazard perception and its relevance for driver licensing." *IATSS research* 23.HS-042 879 (1999).
- McInerney, Katalina, and Julie Suhr. "Neuropsychological correlates of hazard perception in older adults." *Journal of the International Neuropsychological Society* 22.3 (2016): 332-340.
- Meien Pavement Marking Co., Ltd. "Analysis of the New Standards for Road Traffic Markings (2): Requirements for Pavement Text Markings." *Sichuan Meien Construction Engineering Co., Ltd.*, 24 Apr. 2021, <https://www.sc-meien.com/article/498.html>. Accessed 19 Nov. 2025.
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). *About the Size of Letters on Guide Signs*. Japan: MLIT, n.d.
- MLIT, <https://www.mlit.go.jp/road/sign/sign/annai/hqa04.htm>. Accessed 9 Jan. 2024.
- Miwa, Koji, and Ton Dijkstra. "Lexical processes in the recognition of Japanese horizontal and vertical compounds." *Reading and Writing* 30 (2017): 791-812.
- Miyoshi, Tetsuya, and Hidetoshi Nakayasu. "Analysis of relationship between characteristics of driver's eye movements and visual scene in driving events." *2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011)*. IEEE, 2011.
- Moran, Caroline, Joanne M. Bennett, and Prasannah Prabhakaran. "The relationship between cognitive function and hazard perception in younger drivers." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 74 (2020): 104-119.
- Nagami, Yutaka, Wu Min, and Takuya Furubayashi. "Visible and readable distance of road marking characters." *Proceedings of the Conference of Japan Society of Traffic Engineers*. Vol. 42. Japan Society of Traffic Engineers, 2022.
- Nagami, Y., B. Wu, and T. Furubayashi. "Measurement Experiments on Recognition and Legibility Distance of Road Character Markings." *Journal of Traffic Engineering*, vol. 9, no. 2, 2023, pp. A_376–A_385.
- Nagy, Viktor, et al. "Testing Road Vehicle User Interfaces Concerning the Driver's Cognitive Load." *Infrastructures* 8.3 (2023): 49.
- 内閣府. (2024). 交通安全白書 令和6年版. 東京：内閣府
- National Institute for Land and Infrastructure Management "Annex 1 (Reference) List of Road Signs, Parcel Lines and Road Markings" (2015) <https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0848pdf/ks084812.pdf> Accessed July 31, 2024

- Ngernsukphaiboon, T., et al. "A Study on Car Following and Cognitive Ability of Elderly Drivers by Using Driving Simulator (No. 2016-01-1737). 2016. SAE Technical Paper."
- Nicholls, Victoria I., et al. "The impact of perceptual complexity on road crossing decisions in younger and older adults." *Scientific Reports* 14.1 (2024): 479.
- Nihei, Misato, et al. "An analysis of factors affecting wrong-way driving at a highway entrance using a driving simulator among older drivers with cognitive decline." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 91 (2022): 58-72.
- Obana, Yasuko. "Vertical or horizontal? Reading directions in Japanese." *Bulletin of the School of Oriental and African Studies* 60.1 (1997): 86-94.
- Oda, K. "Effect of character size on reading Japanese." *Invest Ophthalmol Vis Sci* 39 (1998): S832.
- Okada, Hiroki, Takafumi Morimoto, and Nozomu Ikeda. "Exploratory study on driving ability of people with schizophrenia: Relationships among cognitive function, symptoms, and brain activity." *Schizophrenia Research* 264 (2024): 290-297.
- Okada, Hiroki, et al. "Characteristics of real-world driving behavior in people with schizophrenia: a naturalistic study utilizing drive recorders." *Schizophrenia* 11.1 (2025): 67.
- Olsen, Anneli. "The Tobii I-VT fixation filter." *Tobii Technology* 21 (2012): 4-19.
- Osaka, Naoyuki. "Eye fixation and saccade during kana and kanji text reading: Comparison of English and Japanese text processing." *Bulletin of the Psychonomic Society* 27.6 (1989): 548-550.
- Osaka, Naoyuki, and Koichi Oda. "Effective visual field size necessary for vertical reading during Japanese text processing." *Bulletin of the Psychonomic Society* 29.4 (1991): 345-347.
- Pashkevich, Anton, et al. "Analysis of drivers' eye movements to observe horizontal road markings ahead of intersections." *Conference Vision Zero for Sustainable Road Safety in Baltic Sea Region*. Cham: Springer International Publishing, 2018.
- Patterson, Loretta, et al. "Measuring the impact of driving status: The centre for research on safe driving—impact of driving status on quality of life (crsd-idsqol) tool." *Canadian Journal of Occupational Therapy* 86.1 (2019): 30-39.
- Penedo, Tiago, et al. "Gaze behavior data in the vitrine of human movement science: considerations on eye-tracking technique." *Brazilian Journal of Motor Behavior* 17.4 (2023): 75-88.
- Pomplun, Marc. *Analysis and models of eye movements in comparative visual search*.

- Göttingen, Germany: Cuvillier, 1998.
- Pomplun, Marc, Tyler W. Garaas, and Marisa Carrasco. "The effects of task difficulty on visual search strategy in virtual 3D displays." *Journal of vision* 13.3 (2013): 24-24.
- Pour-Rouholamin, Mahdi, and Huaguo Zhou. "Analysis of driver injury severity in wrong-way driving crashes on controlled-access highways." *Accident Analysis & Prevention* 94 (2016): 80-88.
- Puchta, Amy E. "Can I drive after my stroke?." *Journal of Vascular and Interventional Neurology* 1.1 (2008): 32.
- Q&A4 Font size. <https://www.mlit.go.jp/road/sign/sign/annai/hqa04.htm> . Accessed January 29, 2024
- Radzak, Mohamed Yusof, et al. "Study on traffic sign recognition." *International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering (IJRSCSE)* 2.6 (2015): 33-39.
- Recarte, Miguel A., and Luis M. Nunes. "Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving." *Journal of experimental psychology: Applied* 6.1 (2000): 31.
- Regensburger, Uwe, and Volker Graefe. "Visual recognition of obstacles on roads." *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'94)*. Vol. 2. IEEE, 1994.
- Ren, Guichao, et al. "Research on the visual cognition patterns of exit guide sign viewing on freeway interchanges." *Advances in Mechanical Engineering* 11.3 (2019): 1687814018819530.
- Ren, Yuan-yuan, et al. "Analysis of drivers' eye-movement characteristics when driving around curves." *Discrete Dynamics in Nature and Society* 2015 (2015).
- Richer, Stuart, et al. "Night Vision and Carotenoids (NVC): A randomized placebo controlled clinical trial on effects of carotenoid supplementation on night vision in older adults." *Nutrients* 13.9 (2021): 3191.
- Sakai, Hiroyuki, et al. "Speed-related activation in the mesolimbic dopamine system during the observation of driver-view videos." *Scientific Reports* 8.1 (2018): 711.
- Sasaki, T. *Research on Evaluation of Driving Capability*. PhD dissertation, Shinshu University, 2014.
- Selander, Helena, et al. "Older drivers: On-road and off-road test results." *Accident Analysis & Prevention* 43.4 (2011): 1348-1354.
- Schmidtke, Nadia-Jasmine. "A comparison between the responsiveness of selected physiological and subjective mental workload indicators during real-world driving

- scenarios." *Dep Hum Kinet Ergon Rhodes Univ* (2019).
- Shang, Ting, et al. "Method of setting exit advance guide signs in highway tunnels based on the driver's eye movement with markov chains." *IEEE Access* 9 (2021): 24079-24092.
- Shinohara, Yumiko, and Yukiko Nishizaki. "Effects of Driving Situation and Driving Experience on Eye Movements." *Information Engineering Express* 3.3 (2017): 31-40.
- Sudkamp, Jennifer, Mateusz Bocian, and David Souto. "The role of eye movements in perceiving vehicle speed and time-to-arrival at the roadside." *Scientific reports* 11.1 (2021): 23312.
- Takahashi, Hiroshi, and Makoto Itoh. "A Driving Simulation Study on Visual Cue Presented in the Peripheral Visual Field for Prompting Driver's Attention." *Journal of Robotics and Mechatronics* 31.2 (2019): 274-288.
- Toi, Satoshi, et al. "A method for planning of road sign system in highway using straying index." *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6 (2005): 981-996.
- Tullis, T., and B. Albert. *Measuring the User Experience*. 2nd ed., Elsevier/Morgan Kaufmann, Amsterdam, Netherlands, 2013, pp. 163–186.
- Underwood, Geoffrey, et al. "Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 5.2 (2002): 87-97.
- Underwood, Geoffrey, et al. "Eye fixation scanpaths of younger and older drivers in a hazard perception task." *Ophthalmic and Physiological Optics* 25.4 (2005): 346-356.
- Valsecchi, Matteo, Karl R. Gegenfurtner, and Alexander C. Schütz. "Saccadic and smooth-pursuit eye movements during reading of drifting texts." *Journal of vision* 13.10 (2013): 8-8.
- Velichkovsky, Boris M., et al. "Visual fixations as a rapid indicator of hazard perception." *NATO SCIENCE SERIES SUB SERIES I LIFE AND BEHAVIOURAL SCIENCES* 355 (2003): 313-322.
- Vrkljan, Joso, and Vjekoslav Jeleč. "Research on the influence of roadside billboards on cognitive workload of young drivers and traffic safety." *Tehnički vjesnik* 28.2 (2021): 488-494.
- Wechsler, D. "WMS-R: Wechsler Memory Scale-Revised: Manual.(1987)." *San Antonio, TX: Psychological Corporation* (1984).
- Wijayanto, Titis, Syam Rachma Marcilia, and Galang Lufityanto. "Visual attention, driving behavior and driving performance among young drivers in sleep-deprived condition." *KnE Life Sciences* (2018): 424-434.

- Wilson, Barbara A., et al. "Behavioural assessment of the dysexecutive syndrome." *Methodol Front Exec Funct* 5 (2004): 232-243.
- Wu, Tao, et al. "Analysis of Visual Search Characteristics Based on Drivers' Hazard Perception." *CICTP 2020*. 2020. 3742-3753.
- Yang, Yanqun, et al. "Evaluation effects of two types of freeway deceleration markings in China." *PLoS one* 14.8 (2019): e0220811.
- Yang, Yanqun, et al. "Effect of highway directional signs on driver mental workload and behavior using eye movement and brain wave." *Accident Analysis & Prevention* 146 (2020): 105705.
- Yang, Yanqun, et al. "Impact of roadside advertisements near traffic signs on driving safety." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 100 (2024): 254-272.
- Yuen, Nicole H., et al. "Driving with distraction: measuring brain activity and oculomotor behavior using fMRI and eye-tracking." *Frontiers in human neuroscience* 15 (2021): 659040.
- Zahabi, Maryam, et al. "Effect of driver age and distance guide sign format on driver attention allocation and performance." *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Vol. 62. No. 1. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2018.
- Zhang, Tingru, et al. "Situational driving anger, driving performance and allocation of visual attention." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 42 (2016): 376-388.
- Zhou, Qianxiang, Chao Yin, and Zhongqi Liu. "The Effect of Time Pressure and Task Difficulty on Human Search." *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Mental Workload, Human Physiology, and Human Energy: 17th International Conference, EPCE 2020, Held as Part of the 22nd HCI International Conference, HCII 2020, Copenhagen, Denmark, July 19–24, 2020, Proceedings, Part I* 22. Springer International Publishing, 2020.
- Zwahlen, Helmut T., Andrew Russ, and Thomas Schnell. "Viewing ground-mounted diagrammatic guide signs before entrance ramps at night: Driver eye scanning behavior." *Transportation research record* 1843.1 (2003): 61-69.

業績リスト

1. 著書

無し

2. 学会誌又は学術雑誌への論文掲載

I. 論文掲載

1. 前山昂弥, 澤村大輔, 吉田一生, 鈴木哲平, 小笠原克彦, 境信哉. 「スクロールする日本語黙読時における視線移動の特徴」『第46回日本高次脳機能障害学会学術集会抄録集』, 2023年, pp. 102–103.
<https://doi.org/10.2496/hbfr.43.102>
2. 前山昂弥, 岡田宏基. 「重半盲性難読のリハビリテーションが読字速度に与える効果：システマティックレビューおよびメタアナリシス」『北海道リハビリテーション学会雑誌』第47巻, 第67回北海道リハビリテーション学会学術集会一般演題抄録, 2024年, pp. 22–23.
<https://doi.org/10.2496/hbfr.44.65>
3. 前山昂弥, 岡田宏基. 「案内標識の位置と運転速度に着目した視線運動の特徴と認知機能との相関」『第48回日本高次脳機能障害学会学術総会一般演題抄録』, 2025年, p. 26. <https://doi.org/10.2496/hbfr.45.20>
4. Maeyama, Takaya, Hiroki Okada, and Shinya Sakai. "The effects of rehabilitative interventions on reading disorders caused by homonymous visual field defects: a meta-analysis focusing on improvement in reading speed." *Acta Neurologica Belgica* 124.1 (2024): 123-140.
<https://doi.org/10.1007/s13760-023-02327-6>
5. Maeyama, Takaya, Hiroki Okada, and Daisuke Sawamura. "Sequential fixation behavior in road marking recognition: Implications for design." *Journal of Eye Movement Research* 18, no. 5 (2025): 59.
<https://doi.org/10.3390/jemr18050059>
6. Okada, Hiroki, Saki Komagata, Mayu Takagi, Yuichi Kamata, Junichi Matsumoto, Takaya Maeyama, Yukiko Takashio, and Masaki Matoba. "Characteristics of real-world driving behavior in people with schizophrenia: a naturalistic study utilizing drive recorders." *Schizophrenia* 11.1 (2025): 67.
<https://doi.org/10.1038/s41537-025-00613-1>
7. Sawamura, Daisuke, Miaowen Duan, Yuji Inagaki, Ryuji Saito, Kazufumi Okada, Akihiro Watanabe, Harukazu Tohyama, Takaya Maeyama, Susumu

Yoshida, Mitsunori Miyazaki, Naoya Hasegawa, Koichi Yokosawa, and Yumie Ono. "Reducing Attention Bias Toward Negative Emotional Stimuli with Transcranial Random Noise Stimulation: A Randomized, Double-blind, Sham-controlled, Crossover Study." *Scientific Reports* (2025).
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-28306-w>

II. 学会発表（口述発表）

1. 前山昂弥, 澤村大輔, 吉田一生, 鈴木哲平, 小笠原克彦, 境信哉 スクロールする日本語黙読時における視線移動の特徴. 第46回日本高次脳機能障害学会, 山形, 2022
2. 前山 昂弥, 岡田 宏基 同名性視野障害で生じた読字障害に対するリハビリ的介入の効果：システムティックレビューとメタアナリシス. 第47回日本高次脳機能障害学会学術総会, 宮城, 2023
3. 前山 昂弥, 岡田 宏基 案内標識の位置と運転速度に着目した視線運動の特徴と認知機能との相関. 第48回日本高次脳機能障害学会学術総会, 東京, 2024
4. 前山 昂弥, 岡田 宏基, 澤村大輔 路面標示視認における段階的な固視の動態：設計への示唆. 第9回日本安全運転医療学会学術集会, 福井, 2025

3. 総説・解説

無し

4. 学会賞・学術賞の授与

無し