



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Visual Factors Shaping Text Legibility and Preference in Virtual Reality : A Comparative Study of Native and Non-Native Speakers
Author(s)	張, 慧丹
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16984号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16984
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99828
Type	doctoral thesis
File Information	Huidan_Zhang_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学)

氏名 張 慧丹

審査担当者 主 査 教 授 坂本 大介

副 査 教 授 野田 五十樹

副 査 教 授 山本 雅人

副 査 教 授 川村 秀憲

学位論文題名

Visual Factors Shaping Text Legibility and Preference in Virtual Reality: A Comparative Study of Native and Non-Native Speakers

(バーチャルリアリティー環境におけるテキスト判別性と嗜好性に影響する視覚要因の調査: 母語話者と非母語話者の比較研究)

テキスト理解には知覚レベルでの判別性 (Legibility) が不可欠であるが, 印刷物や 2D ディスプレイに関する従来の知見は, 視野制限やレンズ歪み等の物理的制約が異なる VR 環境の頭部搭載型ディスプレイ (Head-mounted Display; HMD) にはそのまま適用できない. 近年の VR 研究は様々な可読性調整を試みているものの, ハードウェアや言語条件が統一されておらず知見は断片的である. さらに, 心理言語学的には可読性が母語 (L1) や第二言語 (L2), 文字体系 (スクリプト) といった言語的背景に深く依存するにもかかわらず, 既存研究の多くは読者を均質な集団として扱っており, 多言語対応の VR インタフェースに向けた体系的な比較研究は依然として不足している.

これらのギャップに対処するために, 本論文は統制された比較戦略を採用する. すべての実験は同じ VR デバイス上で行われ, 同じ実験室環境下で, 慎重に較正された距離とテキストサイズで実施される. これらの視覚的変数は第 2 章で定義され体系的に分類された後, すべての実験で一貫して適用される. この共通の枠組みの中で, 本研究では日本語, 英語, 中国語のネイティブ読者を募集し, 第一言語 (L1) とあまり馴染みのない第二言語 (L2) の両方でタスクを実行するよう求めた. これにより, 観察された違いはハードウェアや文脈的要因ではなく, 視覚的テキスト要因と言語的背景に帰することができる. 構造的に, 本論文は Multi-Trait Multi-Method matrix(MTMM) アプローチに従い, 判別性と嗜好性という 2 つの特性に焦点を当て, それらを 3 つの補完的な方法で測定する. すなわち, 第 3 章の好適視聴距離タスク, 第 4 章のグリフ識別タスク, そして第 5 章の主観的フォント評価タスクである. この MTMM アプローチにより, 特性や方法を超えて堅牢な効果と, 特性または方法に固有の効果を識別することが可能になる.

好適視聴距離タスク (第 3 章) は, VR における判別性の最初の直感的な尺度として視聴距離を使用する. 参加者は, ヘッドセット内のテキストパネルを, 読むのが「鮮明で快適」と感じるまで近づけたり遠ざけたりして調整する. 視角サイズは距離とともに変化するため, このタスクは実験者によって課された固定された閾値ではなく, サイズと距離の自己選択による組み合わせを捉える. 正解は一つではないため, 結果は意図的に主観的であり, 同一のデバイスおよび環境条件下での各読者の判別性に関する内部基準を反映する. 全体として, この方法は, VR における好適視聴距離がデバイスの制限だけでなく, スクリプト固有のトップダウン補償や, ネイティブと非ネイティブの読者間の有効知覚スパンの違いによっても形成される傾向が明らかとなった.

グリフ識別タスク (第 4 章) は, グリフの識別に焦点を当てることで, より制約されたパフォーマンスベースの視点を提供する. この実験では, グリフの複雑さと類似性を操作し, 読者が短時間提示されたターゲットを 2 つの選択肢のうちの 1 つと正しく一致させることができるかどうかを問

う。したがって、刺激が可視であっても、非常に類似した選択肢が混乱を招くため、エラーが発生する可能性がある。このタスクは客観的な正解率と反応時間の尺度をもたらす。全体として、この方法は、VR が視覚戦略における深いスクリプト間の違いを維持していることを実証している。文字体系のネイティブ (例: 中国語と日本語) は類似性による混乱に最も脆弱であり、アルファベット体系のネイティブは複雑さによってより制約を受ける傾向が明らかとなった。

主観的フォント評価タスク (第 5 章) は再び主観的な視点を取り、フォント判断を通じて判別性を評価する。参加者は、VR 内の同じ位置、サイズ、内容で提示されるが異なるフォントでレンダリングされた短いテキストサンプルを比較し、どちらのフォントがより快適で読みやすいかを示す。短時間の簡易的なインタビューで、彼らの選択の背後にある理由を探る。距離と内容を固定することにより、この研究は主観的な判別性を形成する際のフォントデザインの役割を分離し、現実的な視聴条件下で読者が異なるフォントオプションをどのように経験するかを示す。全体として、この方法は、VR における主観的なフォント選択が判別性と美学によって共同で駆動されることを明らかにしている。ネイティブ読者の快適さは強力なパフォーマンスをサポートする構成と密接に一致するのに対し、非ネイティブ読者は客観的には最適でない場合でも、親しみやすい、または視覚的に魅力的なスタイルをより頻繁に好む傾向が明らかとなった。

第 6 章の総合考察では、MTMM フレームワークの観点から前述の 3 つの手法 (第 3 章～第 5 章) を再評価し、それらを統一的な評価基盤のもとで互いに補い合う要素として位置づけた。視聴距離の調整、識別パフォーマンス、および主観的フォント評価の間で見られた傾向の一致は、VR における判別性が文字体系や言語的背景から受ける普遍的な影響を浮き彫りにする。その一方で、客観的なパフォーマンス指標と主観的な嗜好との間に見られた不一致は、ユーザ体験における特性固有の側面を明らかにするものである。これらの統合された知見に基づき、本論文では Unity を用いたプロトタイプ「Visual Text Legibility System (VTLS)」を提案した。VTLS は、得られた知見を簡易なルールや予測関数として実装し、判別性を考慮したリアルタイムのテキストレンダリングを可能にする。総括として、本研究における 3 つの成果 (統一された多言語データセット、MTMM に基づく判別性と嗜好性の比較、VTLS プロトタイプ) を通じ、一般的な VR 環境においても文字体系、読者グループ、視覚的要因を横断した体系的な比較の実現可能性について検討した。これらは、ユーザの知覚的限界と言語的多様性を尊重した、多言語対応の適応型 VR インタフェースを実現するための重要な基盤を提供するものである。

これを要するに、著者は多言語対応の VR インタフェース構築に向けた基盤的研究として、テキストの可読性と嗜好性に影響する要因を、母語および文字体系の観点から体系的に調査した。Multi-Trait Multi-Method matrix (MTMM) アプローチを用いた一連の実験により、視聴距離、文字識別、フォント嗜好における母語話者と非母語話者の差異を解明し、その知見を実装可能なシステムとして具体化した。これらは、従来の英語圏中心あるいは単一の読者グループを対象とした研究では看過されていた視点であり、ユーザの知覚的限界と言語的多様性を尊重した適応的な VR インタフェースの実現に大きく貢献するものである。

よって著者は、北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。