

Graph Guide: 低視力者支援のためのセマンティック Focus+Context グラフ表示

SECHAYK Yotam* LI Yuan* RAVE Hennes† COLLEY Mark‡
SHAMIR Ariel§ 五十嵐 健夫*

概要. データ可視化グラフは情報伝達的手段として広く利用されているが、弱視者 (Low Vision Individuals: LVI) にとっては依然として困難を伴うものであり、注目している情報とその周囲にある文脈情報の両方にアクセスすることが難しい。LVI を支援する最も一般的なツールは画面拡大ツールであるが、一様な拡大によってグラフの一部が視野から外れ、パン操作やレイアウトの記憶が求められるため、高い認知的負荷を引き起こす。これらの課題を明らかにするため、5名のLVIを対象とした予備的調査を実施した。その結果、参加者は凡例といった文脈的要素を推測に頼りながら探ることが多く、それが余分な認知的負荷を生じさせていた。これらの知見に基づき、GRAPH GUIDEを開発した。GRAPH GUIDEはFocus+Contextの発想に基づき、視野外にある文脈的要素 (例: 軸や凡例) を意味的に抽出し、視野内へ投影する手法である。さらにGRAPH GUIDEを検証するため、6名のLVI参加者を対象に予備的評価を実施した。その結果、GRAPH GUIDEは既存の従来ツールによるワークフローと比較して、知覚的アクセスを改善し、労力を削減し、システムユーザビリティ尺度 (System Usability Scale: SUS) においてより高いスコアを達成した。本研究の知見は、新たな機能を画面拡大ツールと統合する際に生じる視覚的な情報過多の管理といった課題を明らかにしており、今後さらなる研究の必要性を示唆している。

1 はじめに

折れ線グラフや棒グラフといったデータ可視化グラフは、教育のおよび職業的な環境において情報伝達的手段として広く利用されている [19]。グラフを効果的に理解し読み取るためには、個々のデータ点といった現在注目している情報だけでなく、それらが位置づけられる周囲の文脈全体を視認できることが必要である [10]。しかし、弱視者 (Low Vision Individuals: LVI) は、完全には矯正できない視覚的制約を有しているため [38]、文脈の中で各データ点を読み取ることは困難な課題である [37][28]。

LVIは、低視力、視野狭窄、あるいはその両方といった多様な形で視覚情報へのアクセスに課題を抱える (図 1)。視覚情報を言語情報に変換する方法なども存在するが、LVIは残存視力を用いて自ら直接視覚情報にアクセスすることを好む傾向が報告されている [33]。

デジタルデバイスにおいてLVIの視覚的アクセスを支援するために最も広く利用されているツールは、画面拡大ツールである [22][35][36]。画面拡大ツール [2][1] は通常、画面上のコンテンツを一様に拡大し、全画面モードあるいはレンズモードで使用されるこ

とが最も多い。

しかし、画面拡大ツールを用いてグラフを読む場合、拡大によって一部の領域が視野から外れたり、表示が遮られたりする [36][28][35]。特にグラフのような複雑な情報にアクセスする際には、LVIはパン操作、ズーム操作、レイアウトの記憶、さらには心的モデルの構築を行う必要があり、それが大きな認知的負荷につながる [22][28][33][23]。

LVIが多様な一般的グラフの読解課題にどのように取り組み、その文脈的ニーズを理解するために、5名のLVIを対象とした形成的評価を実施した。先行研究と同様に、本研究の結果からも、画面拡大ツールが依然としてLVIを支援するほぼ唯一のツールであることが確認された [37][28][33][30]。さらに、グラフ上で関連する文脈を探る際、参加者はしばしば推測に頼ってパン操作を行い、それが誤りや時間・労力の浪費につながるようになった。

我々は、グラフ読解において重要となる文脈要素

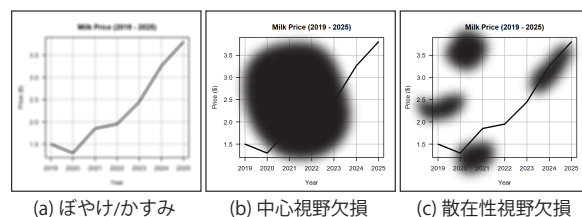


図 1: LVI として視覚問題の類型例。

Copyright is held by the author(s).

* 東京大学

† University of Münster

‡ University College London

§ Reichman University

として、軸、凡例、およびガイドラインを特定した。これらの知見に基づき、我々は LVI が既存のツールを用いて細部に焦点を当てながら、同時に文脈情報へアクセスできるように支援するインタラクション手法である GRAPH GUIDE を開発した。GRAPH GUIDE は画面拡大ツール [2][1] と連携して動作し、カーソル位置に基づいて視野外にある文脈情報を動的にユーザの視野内へ投影する。

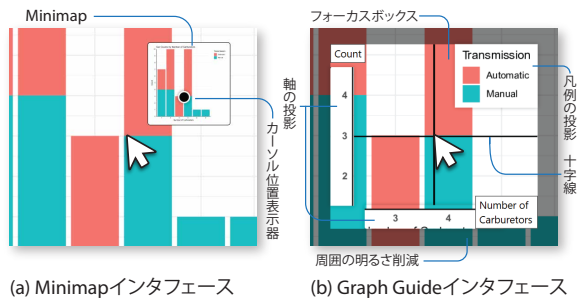


図 2: ユーザインタフェースの概要。

GRAPH GUIDE の予備的評価を、6名の LVI を対象にグラフ読解シナリオで実施し、縮小表示のオーバービューペインといった従来手法や、参加者が日常的に利用している支援ツールとの比較を行った (図 2)。その結果、画面拡大ツールに加えて、LVI はしばしば複数の拡大モード (例: ピンチズーム、身体的な画面位置の調整) を組み合わせて利用しており、GRAPH GUIDE 使用時にはこれらへの適応が求められることが示唆された。また、GRAPH GUIDE が追加的な視覚情報を提示することにより、一部の利用者にとっては視覚的負担が増加する可能性があることも確認された。しかし一方で、GRAPH GUIDE は参加者の知覚的アクセスを有意に改善し、全体的な労力を軽減するとともに、グラフ読解における有用性を高めることが示された。特に、システムユーザビリティ尺度 (System Usability Scale: SUS) [7][4] において有意に高いスコアが得られた。

質的評価からは、参加者がグローバルな画面拡大よりも局所的な拡大を好み、事前に情報を提示するプロアクティブ型支援 (例: クリックして非表示) よりも、必要に応じて能動的に操作して情報を得るリアクティブ型支援 (例: クリックして表示) を好む傾向が明らかとなった。さらに、LVI の利用パターンが多様であることから、GRAPH GUIDE に他の手法 (例: 縮小表示のオーバービュー) の要素を取り入れることが、グラフへのアクセス性を一層向上させる可能性が示唆された。とはいえ、依然として重要な課題は、提示する視覚情報量と利用可能な表示領域とのバランスをいかに取るかである。

2 関連研究

棒グラフや折れ線グラフを含むデータ可視化グラフは、視覚的複雑さのために LVI にとって依然として困難である [28][37]。拡大機能を使用すると、データ点と注釈との関係が分断され、文脈を失う原因となる。近年の研究では、グラフを表形式に変換する手法 [25]、音によるインタラクション [9]、あるいは会話型エージェントを用いる手法 [31][21][15] などによって、これらの障壁に対処しようとする試みが行われている。また、一度に表示するデータ量を制限することで、拡大ツールに依存しないアクセスを実現するツールも提案されている [27]。しかし、これらのツールはグラフの再構築 [27] に依存していたり、会話型エージェントの利用 [31] など、LVI に新たなナビゲーション方法の変更を求めたり、あるいは表形式への変換 [25] のように視覚に基づくナビゲーションを省略してしまうことが多い。後者は LVI にとって必ずしも望ましい方法ではない [33]。

これに対し、GRAPH GUIDE は元のグラフを保持しつつ画面拡大ツールを支援し、視覚的探索へのアクセスを提供する。その結果、グラフ再構築に伴う誤りを回避し、既存の支援ツールにおける LVI の利用を補完し、視覚的探索時の負担を軽減する。

Focus+context および overview+detail のパラダイムは、情報可視化において細部と広い文脈の把握の両立を支援する [14][10][6]。Focus+context 手法は、フィッシュアイビュー [3] などに代表され、歪みや適応的スケーリングを通じて細部と文脈を単一のビュー内に統合する。一方、overview+detail は、それらをリンクされたウィンドウに分離することで実現される [34][40][8]。これらのパラダイムの拡張として、ズーム可能なインタフェースにおいて要素の詳細を表示または抑制する *semantic zooming*、および要素の視覚的外観を変えずに小さな対象や遠方の対象とのインタラクションを容易にする *semantic pointing* が提案されている [10]。しかし、これらの手法は主に晴眼者向けのインタラクション最適化を目的としており、特に重要な意味的要素 (例: 軸、凡例) が拡大視野の外にある場合に生じる LVI のアクセシビリティニーズには十分に対応していない。

本研究は Focus+context の概念を基盤とし、視野外にある意味的に重要な文脈情報を視野の中へ投影することで、LVI によるより効果的なナビゲーションと解釈を支援する。

3 予備的調査

多様なグラフにおける読解課題に対して LVI がどのように取り組み、またその文脈のニーズを理解するために、5名の LVI を対象とした形成的評価を実施した。本研究では、グラフの読解力を評価するために広く用いられている可視化リテラシー評価

表 1: 形成的調査の参加者 (N=5). 拡大機能はスクリーン拡大ソフトの使用を示す.

ID	年齢/性別	診断名	発症	法的失明	拡大機能
F1	28/女性	斜視, 神経学的視覚障害	先天性	はい	はい
F2	32/男性	左眼失明, 視野狭窄	先天性	はい	はい
F3	30/女性	網膜色素変性症 (RP), 視野狭窄	先天性	はい	いいえ
F4	41/女性	アルビニズム, 光過敏	先天性	はい	はい
F5	37/男性	アルビニズム, 乱視	先天性	はい	はい

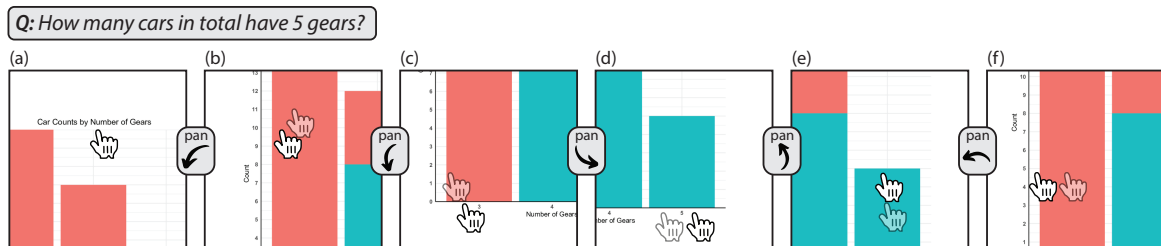


図 3: デフォルトツールを用いた積み上げ棒グラフでのインタラクションフロー.

テスト (Visualization Literacy Assessment Test: VLAT) [24][26] を利用した. VLAT は棒グラフ, 折れ線グラフ, 面グラフなど 12 種類の代表的な可視化手法に基づいて設計されており, グラフを読み取り理解する能力を測定できる. その簡略版である Mini-VLAT[26] は, 各グラフタイプにつき 1 問のみで構成されている. Mini-VLAT を用いることで, 実際のグラフ読解シナリオへのアクセスを可能にしつつ, 疲労を抑制することができる. 参加者はまずデジタル版を体験し, 続いて紙媒体版を用いた振り返りを行った.

3.1 調査手順

知人を通じて 5 名の参加者を募集した (表 1). 参加者は全員が弱視であり, 残存視力を用いてグラフを読むことを好んでいた. 5 名のうち 4 名は, 日常的に画面拡大ツールを使用していた. 参加者には, 1 時間の実験参加に対して 20 米ドルの謝礼を支払った. 本研究は所属機関の倫理審査委員会の承認を得て実施された.

各セッションは, 参加者の基本的な属性に関する質問およびグラフへのアクセス経験に関する質問から始めた. その後, 参加者は通常利用しているアクセシビリティ支援ツール (例: 画面拡大ツール) を用いながら, Mini-VLAT クイズ¹に回答した. デジタル版のクイズを体験した後, 提供された PDF 版²を用いた紙媒体版のクイズ体験を含む半構造化

インタビューを実施した. 各セッションは記録され, OpenAI Whisper [29] を用いて逐語録に書き起こし, 分析に供した.

3.2 調査結果

多くの参加者は教育的あるいは職業的な文脈においてデータ可視化グラフを利用した豊富な経験を有しており, 参加者 F5 は主にニュース報道の中でそれらに接していた. 先行研究と一致して, 参加者は低コントラストの配色や低解像度のラスター画像といった視覚的課題を報告した [28][37].

さらに, 複雑な視覚表現が負担となり, グラフの解釈を妨げる場合があると述べた. 例えば, 参加者 F1 は次のように述べている. 「一つの領域に非常に多くの情報が密集している場合, 例えばドットプロットや散布図のようなものでは, 軸上でどこにクラスターが存在するのか, あるいは実際にいくつの点があるのかを見分けることが難しい. ただ一つの大きな塊として認識してしまうことが多い.」

参加者はまた, グラフ内の異なる領域に視線を移動しなければならないに伴うナビゲーション上の課題を指摘し, その過程で生じる不便さに対する不満を表明した (図 3). 彼らは, グラフ間でレイアウトが一貫していることが, こうした課題の軽減につながると強調した. 画面拡大ツールを使用する参加者 F2 は次のように述べている. 「凡例や軸を何度も参照しなければならない. 特にデータが動的に変化している場合, 全体像を把握するのは大きな課題である.」 視野が狭い参加者 F3 も次のように共有した. 「自分の視野では, 一度に全体を見渡すことができないので, 異なる領域に焦点を合わせ, 物理

¹ <https://tools.visualdata.wustl.edu/experiment/>; Accessed 30.08.2025

² https://washuvis.github.io/minivlat/Mini_VLAT_V2.pdf; Accessed 30.08.2025

的に移動しながらプロット全体を見回さなければならぬ。」参加者は、凡例の典型的な配置といった慣習的なデザインに依拠して効率的にグラフを解釈していた。しかし、グラフがこうした期待から逸脱した場合、読み取りやナビゲーションは一層困難になった。参加者 F1 は次のように述べている。「ヒストグラムは棒グラフと非常によく似ているので難しい。どの種類のグラフを見ているのか、そしてどのような情報を読み取るべきかを理解するのに時間がかかることがある。」

その結果、参加者はグラフのレイアウトをより柔軟に制御できるようにすることで、自身の期待に適合させ、ナビゲーションを容易にしたいという要望を表明した。参加者 F1 は次のように述べている。「レイアウトを少し調整できるオプションがあれば非常に助かる。」参加者 F2 もまた、次のように強調した。「全体像と詳細を同時に把握する必要がある。」Mini-VLAT クイズにおいて、参加者 F3 は次のようにコメントしている。「凡例の位置が一貫している方がずっと良い。『どこを見ればよいか』をそれほど探す必要がなくなる。」一部の参加者は、レイアウトがよりコンパクトなため紙媒体版の方が容易だと感じたが、総じてデジタル拡大ツールの快適さを評価し、電子版での実施を好んだ。

電子版と印刷版に対する参加者の嗜好は、画面拡大ツールなどの支援ツールへの習熟度によって多様であった。情報がより限られた空間に配置されているため視覚的ナビゲーションの負担が軽減されるとして、印刷版を好む参加者もいた。また、レイアウトがよりコンパクトであることから印刷版の方が使いやすいと感じる者もいた。しかし最終的には、拡大ツールが快適さを提供するため、すべての参加者がデジタル版を支持した。

4 Graph Guide の設計

予備的調査の知見に基づき (3 節), LVI のグラフアクセスを支援する手法として GRAPH GUIDE を開発した。GRAPH GUIDE を用いることで、LVI は画面拡大ツールやカラーフィルタ (例: 反転) などの支援ツールを継続して利用しながら細部を確認でき、さらにカーソル付近の位置で関連する文脈情報を動的に得ることが可能となる (図 2)。GRAPH GUIDE は、軸や凡例といったグラフの文脈情報をユーザのカーソル付近に投影することで機能する。これを実現するために、GRAPH GUIDE には凡例や軸のバウンディングボックス、さらに存在する場合はタイトルといった最小限の情報が必要となる。提供されるインタフェースは表示が一貫しており、元のグラフの視覚的アイデンティティを保持している。また、設定項目によって利用者のニーズに合わせた調整が可能である。

GRAPH GUIDE は React [12] を用いた Web コ

ンポーネントとして実装されている。現在の実装では、凡例や軸などの要素は、著者らが事前に手動で切り出している。将来的には、画像理解 AI などを利用して、自動化していく予定である [16][41][25]。次節では、LVI を支援するために GRAPH GUIDE に実装された各種機能について詳述する。

4.1 機能とパラメータ

フォーカスボックス カーソルの周囲に文脈情報を表示する領域を定義する。利用者は幅と高さを独立して変更でき、枠線の可視性、色、および太さを調整することが可能である。

周囲の明るさ削減 フォーカスボックスの周囲を暗くし、画面上の要素による視覚的な雑然さを低減する。この機能は利用者がオンまたはオフに切り替えることができる。

軸の投影 グラフに軸が存在する場合、その軸をフォーカスボックス内に投影する。X 軸は領域の下端に、Y 軸は左端に固定する。また、軸タイトルが存在する場合は、それも表示される。利用者は投影される軸の割合 (0% から 100%) を調整できる。投影される軸のサイズは、元のグラフにおけるサイズと同一である。

凡例の投影 グラフに凡例が存在する場合、それをフォーカスボックス内の右上に投影する。投影される凡例のサイズは、元のグラフにおけるサイズと同一である。

十字線 ボックスの中心で交差する縦線と横線の 2 本を表示する。この十字線はガイドラインとして機能し、グラフにおける一般的な機能である。利用者は十字線の太さ、色、透明度、および拡張範囲 (ボックスの大きさまで) を調整できる。

動的な文脈表示 フォーカスボックス内の文脈情報は、グラフ上のカーソル位置に基づいて動的に変化する。例えば、X 値が「1985」、Y 値が「10」の棒にカーソルを合わせた場合、投影された軸には対応する値が表示される。

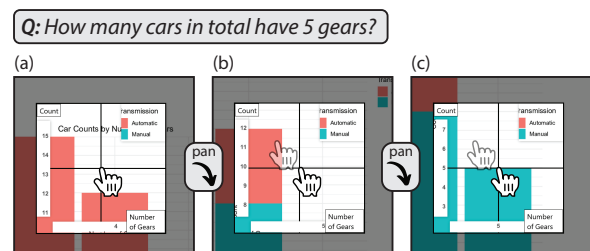


図 4: GRAPH GUIDE の操作フロー。

表 2: 参加者 (N=6). 拡大機能はスクリーン拡大ソフトの使用を示す.

ID	年齢/性別	診断名	発症	法的失明	拡大機能
P1	49/ノンバイナリー	両側視神経症, 視野狭窄	後天性	はい	いいえ
P2	43/アジェンダー	未熟児網膜症, 視野狭窄	先天性	はい	いいえ
P3	66/男性	視神経症	先天性	はい	はい
P4	28/男性	無虹彩症, 光過敏	先天性	はい	はい
P5	35/男性	アルビニズム, 眼振, 光過敏	先天性	はい	はい
P6	39/女性	糖尿病網膜症, 視野狭窄	後天性	いいえ	はい

4.2 Graph Guide の体験

GRAPH GUIDE を利用する際, 利用者は自身の支援ツールに合わせて設定を調整する. 例えば光過敏と視界のぼやけを持つ弱視者 Tom は, 全画面拡大に収まるようフォーカスボックスを調整し, 雑然さを避けるため暗転と枠線を有効化, 十字線を高コントラストかつ太線で端まで表示する.

グラフを表示すると (図 4), Tom は拡大率 300% でタイトルへパンし, 軸情報も同時に確認できる. 質問に答えるため左右にパンして X 軸へ移動し, 下方へ移動して項目を読む. このとき十字線によりカーソルを動かさず視線をずらすだけで Y 値を確認でき, 操作は 2 回に抑えられ, 従来の 5 回から大幅に効率化された (図 3).

5 予備的評価

GRAPH GUIDE の予備的評価を, 6 名の LVI を対象にグラフ読解シナリオで実施し, ツールを使用しない条件および Minimap を用いた overview+detail 手法との比較を行った. 3 節と同様に Mini-VLAT [26] を使用したが, 本評価では追加で 2 種類のバリエーションを作成した. 予備的調査参加者 5 名と予備的評価参加者の 6 名との間に重複はない.

バリエーションは, データにノイズを加えた並べ替え操作と, 質問の方向性や目的の変更 (例: 「最大」を「最小」に変える) という 2 つの操作によって作成された. これらのグラフと質問の改変は, データ可視化の専門家によって承認された. 順序効果を防ぐため, 条件とバリエーションの提示順をランダム化し, カウンターバランスを取った.

5.1 実験手順

弱視のある 6 名の参加者を, 団体を通じた募集およびスノーボールサンプリングによって集めた (表 2). セッションは 1.5 時間にわたり実施され, 参加者には 30 米ドルが支払われた. 本研究は所属機関の倫理審査委員会の承認を得て実施された.

各セッションは, 属性情報の収集から始まり, その後 3 つの条件が提示された: *None* (追加ツールなし), *Minimap* (カーソル付近に固定されたオーバー

ビューウィンドウ), および 4 節で述べた GRAPH GUIDE (順序はランダム化およびカウンターバランス化) である. すべての条件において, 参加者は自身の支援ツールを利用することができた. 課題は短い練習用クイズから開始され, その後, 参加者は設定を調整し, 標準時間の 150% に設定された制限時間内でグラフ読解クイズ (折れ線, 円, 棒) を完了した [26, 20]. 各条件の終了後, 参加者はワークロード評価 (NASA-TLX [17]), ユーザビリティ評価 (SUS [7]), および独自の体験評価質問紙に回答した. 研究の最後には半構造化インタビューを実施した. セッションは記録され, OpenAI Whisper [29] を用いて文字起こしが行われ, 分析に供された.

データ分析は Shapiro-Wilk 検定 [32] から開始された. 正規分布が確認されたデータは, 線形混合効果モデル [5], ANOVA [13], および Tukey の HSD [18] を用いて分析された. 一方, 正規性が確認されなかった場合には, ART ANOVA [39] および ART コントラスト [11] を用いた.

5.2 実験結果

全体として, 個別の NASA-TLX スコア [17] に基づきタスク負荷の低減傾向が見られたが, 統計的に有意ではなかった. 初期の結果は SUS スコア [7] に対する条件の有意な主効果を示した ($F(2,10) = 7.02$, $p = 0.012$, $\eta_p^2 = 0.58$). 事後のペアごとの比較では, GRAPH GUIDE 条件 ($\mu = 81.67$, $\sigma = 16.02$) および Minimap 条件 ($\mu = 76.25$, $\sigma = 10.09$) のいずれも, None 条件 ($\mu = 49.17$, $\sigma = 24.38$) より有意に高いスコアを示した (それぞれ $p = 0.015$, $p = 0.038$). ただし, GRAPH GUIDE 条件と Minimap 条件の間には有意差は認められなかった. 練習用クイズの結果には, 有意な差は認められなかった.

全体的な体験は両ツール条件において改善が見られた (図 5). 特に *information access* において最も強い効果が確認された ($F(2,8) = 6.35$, $p = 0.022$, $\eta_p^2 = 0.61$). この結果, GRAPH GUIDE 条件 ($\mu = 3.83$, $\sigma = 0.75$) は Minimap 条件 ($\mu = 2.67$, $\sigma = 1.03$, $p = 0.021$) より有意に優れていた. さらに

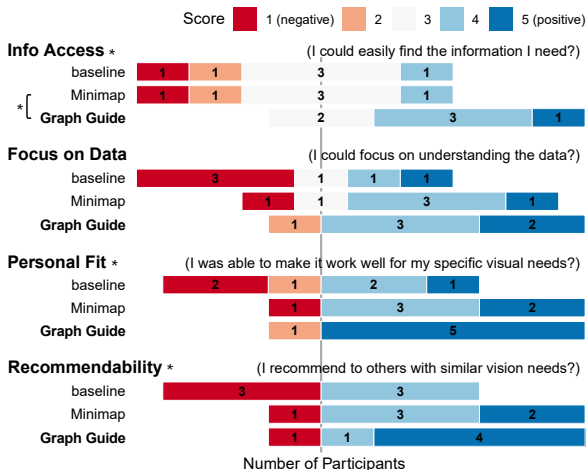


図 5: アンケートの得点結果. *は $p < 0.05$.

に, *Personal Fit*, *Recommendability*, *Focus on Data* においても GRAPH GUIDE を支持する改善が示されたが, 事後比較では有意には至らなかった. これはサンプルサイズの小ささによる可能性がある.

Graph Guide に対する総合的評価 参加者は概ね, GRAPH GUIDE が視野外の文脈情報を自らの視野内に投影する点を評価した. 特に十字線については影響が大きいと指摘され, 推測に頼る必要を減らし, 自信を高めたと報告された (P2, P3, P4, P6). 例えば, 参加者 P3 は次のように述べている. 「十字線によってより多くの制御感を得られ, その結果として自信が高まり, 十分な時間があれば正答を導く可能性も高まった.」 同様に, 参加者 P5 は次のように述べている. 「異なるグラフにおける凡例がボックス内に表示される点が良かった.」 総じて, すべての参加者は従来の拡大のみのワークフローと比較して, 効率性と安心感の両方を得られたと述べた.

拡大手法 すべての参加者において, システムの画面拡大ツール, ブラウザレベルのズーム, ペンチズーム操作など, 複数の拡大モードを組み合わせる一貫した傾向が観察された. これらはしばしば, 画面に身体を近づけるといった物理的な戦略と併用されていた. 例えば, 参加者 P1 はブラウザズームと画面拡大を組み合わせ, P5 はペンチズームとシステム拡大を切り替えて使用していた. これらの行動は, GRAPH GUIDE が単一のアクセスモードを前提とするのではなく, 多様な拡大手法に適應する必要があることを示唆している.

局所的拡大機能への期待 参加者はしばしば, GRAPH GUIDE 自体が局所的な拡大を提供し, 静的な文脈ボックスというよりも拡大レンズのように機能することを期待していた (P1, P2, P3, P5, P6). 参加者 P2 は次のように述べている. 「テキストサイ

ズを大きくしたい. ボックスが拡大鏡のように機能し, そこに情報も表示されるようになってほしい.」これは既存の画面拡大ツールへの不満を示しており, ツール内に局所的な拡大機能を組み込むことで対応できることを示唆している.

視覚的負荷 利点がある一方で, 一部の参加者 (P1, P2, P4, P5, P6) は, GRAPH GUIDE が煩雑さや圧迫感を引き起こす可能性を指摘した. 例えば, 参加者 P6 は次のように述べている. 「時々少し圧倒される感じはあった. 特に複視があるので. それでも実際に頼れる手段が得られるため価値はあった.」同様に, 参加者 P2 はフォーカスボックスが関連する情報を覆い隠す可能性があることを指摘した. 多くの参加者はこのツールを有用だ感じていたが, これらのコメントは, 追加文脈情報と限られた表示領域のバランスを慎重に取る必要があることを示している.

先行手法との組み合わせ 複数の参加者 (P1, P4, P5) は, GRAPH GUIDE に overview+detail 機能 (例: Minimap) を統合することで, 局所的な文脈に加えて全体的な位置把握も支援できると提案した. 参加者 P4 は次のように述べている. 「Minimap と GRAPH GUIDE を組み合わせたかった. 両方に利点があるからだ. Minimap はグラフ全体での位置把握を助け, GRAPH GUIDE はグラフ内部での位置把握を助けてくれた.」このことは, Focus+Context と overview+detail の支援を組み合わせたハイブリッド設計の可能性を示している. ただし, 視覚的な煩雑さへの対応には十分な配慮が必要である.

6 おわりに

データ可視化グラフは情報伝達に有効だが視覚的に複雑であり, LVI にとってアクセスが困難である. 画面拡大ツールは詳細と文脈の同時把握を妨げ, 過度なパン操作を生む. 我々は 5 名の LVI を対象に Mini-VLAT で予備的調査を行い, グラフ読解時の課題を調査した結果, 参加者はしばしば推測に基づいてパンを行っており, 一貫したレイアウトの有効性が示唆された. この知見を基に, 我々は GRAPH GUIDE を提案した. GRAPH GUIDE はカーソル位置に応じて軸や凡例など視野外の意味的に重要な文脈情報を投影する focus+context 手法である. 6 名の LVI による予備的評価では, GRAPH GUIDE がグラフアクセスを改善し, SUS スコア 81.67 を達成して None および Minimap 条件を上回った. 一方, 参加者は複数の拡大手法を併用しており, より柔軟な設計が求められることに加え, 視覚的な雑然さが課題として指摘され, 今後の検討すべき方向性であることも示された. 我々のアプローチを画面拡大ツールと統合することで, より広範なアクセス支援へ発展できる可能性を示す.

謝辞

本研究にご協力いただいた参加者の皆様に深く感謝いたします。本研究の遂行にあたり、多大なご支援をいただいたソフトバンク株式会社および Beyond AI 研究推進機構に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Change Zoom settings for accessibility on Mac. Apple Support, 2025. Accessed August 30, 2025; instructions for the built-in Zoom feature in macOS.
- [2] Magnifier (Windows). Wikipedia, 2025. Accessed August 30, 2025; includes overview and history of the Windows screen magnifier app.
- [3] A. J. Afram, J. Briedis, D. Fujiwara, R. J. Jacob, C. G. Cao, and D. Kahle. Evaluation of Semantic Fisheye Zooming to Provide Focus+context. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 51(5):459–463, Oct. 2007.
- [4] A. Bangor, K. Philip T., and J. T. and Miller. An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-computer Interaction*, 24(6):574–594, July 2008.
- [5] D. Bates, M. Mächler, B. Bolker, and S. Walker. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1):1–48, 2015.
- [6] P. Baudisch, N. Good, V. Bellotti, and P. Schraedley. Keeping Things in Context: A Comparative Evaluation of Focus plus Context Screens, Overviews, and Zooming. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '02, pp. 259–266. Association for Computing Machinery, Apr. 2002.
- [7] J. Brooke. SUS: A quick and dirty usability scale. Technical Report TR 38, Digital Equipment Corporation, Reading, UK, 1996. Originally written in 1986, published in 1996 in P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor and Francis.
- [8] S. Burigat, L. Chittaro, and E. Parlato. Map, Diagram, and Web Page Navigation on Mobile Devices: The Effectiveness of Zoomable User Interfaces with Overviews. In *Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '08, pp. 147–156, New York, NY, USA, Sept. 2008. Association for Computing Machinery.
- [9] P. Chundury, Y. Reyazuddin, J. B. Jordan, J. Lazar, and N. Elmqvist. TactualPlot: Spatializing Data as Sound Using Sensory Substitution for Touchscreen Accessibility. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 30(1):836–846, Jan. 2024.
- [10] A. Cockburn, A. Karlson, and B. B. Bederson. A Review of Overview+detail, Zooming, and Focus+context Interfaces. *ACM Comput. Surv.*, 41(1):2:1–2:31, Jan. 2009.
- [11] L. A. Elkin, M. Kay, J. J. Higgins, and J. O. Wobbrock. An Aligned Rank Transform Procedure for Multifactor Contrast Tests. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '21)*, pp. 754–768. ACM, 2021.
- [12] I. Facebook. React - A JavaScript library for building user interfaces. <https://reactjs.org>, 2024. Accessed: 2024-09-12.
- [13] R. A. Fisher. *Statistical Methods for Research Workers*. Oliver & Boyd, Edinburgh, UK, 1925.
- [14] G. W. Furnas. Generalized fisheye views. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '86)*, pp. 16–23. ACM, 1986.
- [15] J. Gorniak, Y. Kim, D. Wei, and N. W. Kim. VizAbility: Enhancing Chart Accessibility with LLM-based Conversational Interaction. In *Proceedings of the 37th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '24*, pp. 1–19, New York, NY, USA, Oct. 2024. Association for Computing Machinery.
- [16] K. Goswami, P. Mathur, R. Rossi, and F. Deroncourt. ChartCitor: Multi-Agent Framework for Fine-Grained Chart Visual Attribution, Feb. 2025.
- [17] S. G. Hart and L. E. Staveland. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock and N. Meshkati eds., *Advances in Psychology*, Vol. 52 of *Human Mental Workload*, pp. 139–183. North-Holland, Jan. 1988.
- [18] T. Hothorn, F. Bretz, and P. Westfall. Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal*, 50(3):346–363, 2008.
- [19] J. In and S. Lee. Statistical Data Presentation. 70(3):267–276.
- [20] T. Kellaghan and V. Greaney. Public Examinations Examined. *World Bank Publications*, pp. 1–353, 2019.
- [21] N. W. Kim, G. Ataguba, S. C. Joyner, C. Zhao, and H. Im. Beyond Alternative Text and Tables: Comparative Analysis of Visualization Tools and Accessibility Methods. *Computer Graphics Forum*, 42(3):323–335, 2023.
- [22] R. L. Kline and E. P. Glinert. Improving GUI Accessibility for People with Low Vision. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '95*, pp. 114–121, Denver, Colorado, United States, 1995. ACM Press.
- [23] H.-N. Lee, S. Uddin, and V. Ashok. Table-View: Enabling Efficient Access to Web Data Records for Screen-Magnifier Users. In *Proceedings of the 22nd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ASSETS '20, pp. 1–12, New York, NY, USA,

- Oct. 2020. Association for Computing Machinery.
- [24] S. Lee, S.-H. Kim, and B. C. Kwon. VLAT: Development of a Visualization Literacy Assessment Test. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, 23(1):551–560, 2017.
- [25] F. Liu, J. M. Eisenschlos, F. Piccinno, S. Krichene, C. Pang, K. Lee, M. Joshi, W. Chen, N. Collier, and Y. Altun. DePlot: One-Shot Visual Language Reasoning by Plot-to-Table Translation. In *Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Vol. abs/2212.10505, Dec. 2022.
- [26] S. Pandey and A. Ottley. Mini-VLAT: A Short and Effective Measure of Visualization Literacy. 42(3):1–11.
- [27] Y. Prakash, P. A. Khan, A. K. Nayak, S. Jayarathna, H. N. Lee, and V. Ashok. Towards Enhancing Low Vision Usability of Data Charts on Smartphones. Vol. 31, pp. 853–863, 2025.
- [28] Y. Prakash, A. K. Nayak, S. Jayarathna, H. N. Lee, and V. Ashok. Understanding Low Vision Graphical Perception of Bar Charts. In D. R. Flatla, F. Hwang, T. J. V. Guerreiro, and R. Brewer eds., *The 26th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS 2024, St. John's, NL, Canada, October 27-30, 2024*, pp. 59:1–59:10, St. John's NL Canada, 2024. ACM.
- [29] A. Radford, J. W. Kim, T. Xu, G. Brockman, C. McLeavey, and I. Sutskever. Robust speech recognition via large-scale weak supervision. In *International conference on machine learning*, pp. 28492–28518. PMLR, 2023.
- [30] Y. Sechayk, A. Shamir, and T. Igarashi. ShowMe: 対話的な強調表示と拡大表示によるプレゼンテーションビデオの視覚的アクセシビリティの改善. In *Proceedings of the 32nd Workshop on Interactive Systems and Software (WISS 2024)*, 2024. Authors: Yotam Sechayk (University of Tokyo), Ariel Shamir (Reichman University), Takeo Igarashi (University of Tokyo).
- [31] J. Seo, S. S. Kamath, A. Zeidieh, S. Venkatesh, and S. McCurry. MAIDR Meets AI: Exploring Multimodal LLM-Based Data Visualization Interpretation by and with Blind and Low-Vision Users. In *Proceedings of the 26th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS '24*, pp. 1–31, New York, NY, USA, Oct. 2024. Association for Computing Machinery.
- [32] S. S. Shapiro and M. B. Wilk. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4):591–611, 1965.
- [33] S. F. A. Szpiro, S. Hashash, Y. Zhao, and S. Azenkot. How People with Low Vision Access Computing Devices: Understanding Challenges and Opportunities. In *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS '16*, pp. 171–180. Association for Computing Machinery.
- [34] D. S. Tan, B. Meyers, and M. Czerwinski. WinCuts: Manipulating Arbitrary Window Regions for More Effective Use of Screen Space. In *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '04*, pp. 1525–1528, New York, NY, USA, Apr. 2004. Association for Computing Machinery.
- [35] M. Tang, R. Manduchi, S. Chung, and R. Prado. Screen Magnification for Readers with Low Vision: A Study on Usability and Performance. In *Proceedings of the 25th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS '23*, pp. 1–15. Association for Computing Machinery.
- [36] R. Wang, L. Zeng, X. Zhang, S. Mondal, and Y. Zhao. Understanding How Low Vision People Read Using Eye Tracking. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–17, Hamburg Germany, 4 2023. ACM.
- [37] Y. Wang, Y. Zhao, and Y.-S. Kim. How Do Low-Vision Individuals Experience Information Visualization? In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Chi '24*. Association for Computing Machinery.
- [38] Wikipedia contributors. “Congenital blindness.”. Wikipedia, The Free Encyclopedia, Aug. 2025. Accessed August 30, 2025.
- [39] J. O. Wobbrock, L. Findlater, D. Gergle, and J. J. Higgins. The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only ANOVA procedures. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*, pp. 143–146. ACM, 2011.
- [40] Y. Yang, M. Cordeil, J. Beyer, T. Dwyer, K. Marriott, and H. Pfister. Embodied Navigation in Immersive Abstract Data Visualization: Is Overview+detail or Zooming Better for 3D Scatterplots? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 27(2):1214–1224, Feb. 2021.
- [41] H. Zheng, S. Wang, C. Thomas, and L. Huang. Advancing Chart Question Answering with Robust Chart Component Recognition. pp. 5741–5750, Feb. 2025.