

Bar and Line Graph Comprehension: An Interaction of Top-Down and Bottom-Up Processes.

Priti Shah & Eric G. Freedman, 2011, *Topics in Cognitive Science* 3, 560–578.

Introduction

- 上手くデザインされたグラフは、量的情報を、鮮明に忘れがたく、分かりやすくする (Larkin & Simon, 1987; Shah, Freedman, & Vekiri, 2005; Smith, Best, Stubbs, Archibald, & Roberson-Nay, 2002; Tufte, 2001)
 - 故に、グラフは、教科書や科学的ジャーナルなどで広範囲に用いられる (Shah et al., 2005; Zacks, Levy, Tversky, & Schiano, 2002)
- グラフ理解が物事をより良く理解できる事実にも関わらず、今までの研究は単純なグラフの理解に主に焦点を置いた
 - しかし、単純なグラフの研究は、より複雑な情報の理解にしばしば拡張されない (Canwan & Hegarty, in press; Ratwani & Trafton, 2008; Shah et al., 2005; Trafton et al., 2000)
- 本研究は、中程度の複雑さを示した 2 つの一般的なグラフ形式 (線グラフと棒グラフ) の理解に関する検討を行う (Figure 1)
 - 先行知識 (テーマの親密性とグラフリテラシースキル) は、形式とどのように交互作用してグラフ理解に影響するのか
 - グラフ理解において、形式は推論生成にどの程度影響するのか
 - ◇ グラフの内容の親密性とグラフリテラシースキルに焦点を置くことで、どんな形式が個人差の役に立つのかについて結論を示す
- 画像理解モデル (Hegarty, 2005)
 - 全ての外的画像の理解において、トップダウン処理は、ボトムアップの情報と交互作用する (Figure 2; Kriz & Hegarty, 2007)
 - このインタラクティブ・モデルがグラフ解釈にも当てはまることを提唱 (e.g., Freedman & Shah, 2002; Shah, 1997; Shah et al., 2005)
 - ◇ しかし、グラフ内容におけるトップダウンとボトムアップ処理の交互作用を示している経験的な証拠は、ほとんどない
- 本研究では、2 種類の先行知識の影響を考慮する
 - グラフに示された内容の特有の知識
 - グラフ自体についての一般的な知識 (グラフスキーマやグラフリテラシースキル)
 - ◇ これらの知識がグラフ理解における推論生成プロセスに影響を及ぼす可能性を予想する
- 推論生成は、単純なグラフより複雑なグラフに対して、より関連する
 - 単純なグラフは、簡単に記憶される少数の事実を検出することが必要

- 複雑なグラフは、どんな情報をエンコードするか判断し、表象された情報を単純にするために暗算し、推論することが必要
 - ◇ 本研究で使用するグラフは中程度の複雑さ
- 内容の親密性が、推論生成を支援する可能性
 - 内容の親密性は、観察者の理解目標に影響する
 - ◇ 観察者は、予想する関係を確認するか否かを考える
 - 内容の親密性は、推論生成に必要な暗算のための情報を観察者が保つことを助けるかもしれない
 - ◇ バーがどの条件に関連しそうかを予想するため
 - 内容の親密性は、観察者の潜在的なエラーを特定することを助けるかもしれない
 - ◇ もし結果が自身の予測と一致しなかったら、計算結果を再確認するかもしれない
- グラフ理解スキルが、推論生成を支援する可能性
 - 高いスキルの個人は、グラフ形式に関係なく、適切な推論を生成する能力を持っているかもしれない
 - 一方で、高いスキルの個人の方が、よりグラフ形式に影響を受けるかもしれない
 - ◇ グラフリテラシースキルが視覚パターンと解釈を自動的に関連付ける能力を含むため (e.g., Pinker, 1990)
 - 多変量の線グラフには交互作用を伝える意図があり、多変量の棒グラフには、分類的な違いを伝える意図があることを、観察者は予測するかもしれない
 - 本研究では、観察者のデータの解釈におけるグラフリテラシーと形式の交互作用の両方の可能性を考慮する
- 線グラフと棒グラフの理解の先行研究は、グラフ理解において、どのように形式が情報検索プロセスに影響するかを、主に検討した
 - 本研究は、Fig 1 のグラフの主効果を同定するような推論生成に、どのように形式が影響するかを検討する
- 線グラフと棒グラフの解釈におけるボトムアップの影響について、以下のことを予測
 - x-y の交互作用の説明は、棒グラフより線グラフにおいて、しばしば行われるだろう
 - ◇ x-y の交互作用：読書スキル (z 変数) による、音読時間 (y 変数) に対する親密性 (x 変数) への影響についての言及
 - z-y の交互作用の説明は、棒グラフと線グラフにおいて、同等に行われるだろう
 - ◇ z-y の交互作用：親密性 (x 変数) による、音読時間 (y 変数) に対する読書スキル (z 変数) への影響についての言及
 - x-y の主効果の推測は、線グラフより棒グラフにおいて、より行われるだろう
 - ◇ 棒グラフにおいては、親密性と音読時間の主効果 (x-y の主効果) は、読書スキルのバーの 3 グループを内的に平均化することで、計算される
 - ◇ 線グラフにおいて、x-y の主効果を計算することは、3 本の線で示される交互作

用を無視しなくてはならない

- $z-y$ の主効果の推測は、どちらの形式のグラフでも同等に行われるだろう
 - ◇ 棒グラフにおいて、読書スキルと音読時間の主効果 ($z-y$ の主効果) は、それぞれの色の 3 つのバーを内的に平均化することで、計算される
 - ◇ 線グラフにおいて、 $z-y$ の主効果を計算することは、内的に平均化するために 3 つの点が線で繋げられる事実によって、支持される
- 棒グラフと線グラフの理解において、形式、内容の知識、グラフスキルの影響を検討する

Method

- 参加者 : 大学生 55 名
 - 高スキルグループ : 26 名
 - 低スキルグループ : 29 名
 - ◇ グラフスキルテストのパフォーマンスに基づく
- デザインと課題
 - 1 つの被験者内変数 (内容: 親密性 vs 非親密性) と 2 つの被験者間変数 (形式: 線 vs 棒, グラフスキル: 高 vs 低) の混合デザイン
 - 提示グラフ :
 - ◇ 本実験のために、14 セットのデータを作成
 - 7 セットは親密性のあるデータ、残り 7 セットは親密性のないデータ
 - それぞれのデータセットは棒グラフと線グラフの形式で作成
 - ◇ 全てのデータは、大学生にとって馴染み (親密性) がある内容と、馴染みのない内容についての情報を提示
 - 親密性のあるデータの例: 「音読時間」、「言葉の親密性」、「読解力」
 - 親密性のないデータの例: 「モニタリングレベル」、「人種」、「刑罰」
 - ◇ それぞれのグラフは、文脈によって異なる変数が挿入され、グラフを説明する文章と共に個々に示された
 - 文章はグラフにおけるデータを導く研究の設定としてのみ示された
 - ◇ 形式に関係なく、グラフは 2 つの独立変数と 1 つの従属変数で構成された
 - 3 つの変数は論理的に互いに関係した
 - それぞれの独立変数に 3 つの水準が設定された
 - ◇ 提示の順番、データ、内容説明の変数は、線グラフと棒グラフの両方で同一で、異なっていたのは形式のみだった
 - グラフスキルテスト :
 - ◇ 様々な先行研究の個人差尺度を参考に、13 項目のグラフスキルテストを作成
 - グラフスキルテストの中央値は 8 で、平均は 8.3、範囲は 4~12 だった
 - 8 より得点が高い参加者が、高いグラフリテラシーグループ : 26 名
 - 8 以下の得点の参加者が、低いグラフリテラシーグループ : 29 名
- 手続き

- 参加者はランダムに形式条件 (線グラフ or 棒グラフ) に割り当てられた
- それぞれの試行で、参加者はコンピュータでグラフを見て、用意されたシートにグラフから分かること (説明) を書いた
 - ◇ 実験者は、それぞれの参加者がそれぞれのグラフについて、大体 2~4 文の説明を提供しなくてはならないことを強調した
- グラフ課題を実施した後、グラフスキルテストと数学的背景の調査が実施された
- 説明のコーディング
 - それぞれの説明が「x-y 交互作用」、「z-y 交互作用」、「x-y 主効果」、「z-y 主効果」、「他の情報」を含むかどうかでコーディングした
 - ◇ x-y 交互作用 : x-y の関係と、それが凡例として示された z 変数によってどのように抑えられたかの説明
 - ◇ z-y 交互作用 : z-y の関係と、それが x 軸の変数によってどのように抑えられたかの説明
 - ◇ x-y 主効果 : z 変数を無視した x-y の関係の記述
 - ◇ z-y 主効果 : x 変数を無視した z-y の関係の記述
 - 読み手はこれらのコーディングカテゴリの例について、初めに言及された
 - ◇ 他の情報 : バーの色や陰影についての記述、データの推測についてのコメント、データの自明性や新規性についてのコメントなど
 - 2 人の評価者は全てのデータをコーディングし、95%一致した
 - ◇ 一致しなかった点は、3 人目の評価者との議論で解決した
 - 複数のカテゴリ情報が含まれる説明は、両方のコードを当てはめた

Results

- 連続した分散分析の結果
 - Table 1 : 交互作用の説明
 - Table 2 : 主効果の説明
 - ◇ 『他の情報』の説明は、ほぼ半数の試行で作成され、主に他のコードと同時に発生したが、本研究の目的とは関連しないため、本論文では議論しない
- 交互作用の説明
 - 予想通り、観察者は、棒グラフ ($M = 0.23$) より線グラフ ($M = 0.33$) において x-y の交互作用の説明を行った
 - ◇ また、線グラフ ($M = 0.04$) より棒グラフ ($M = 0.10$) において z-y の交互作用の説明を行った ($F(1, 51) = 8.3, p < .05$)
 - ◇ さらに、棒グラフ (x-y 交互作用と z-y 交互作用の差の平均 = 0.12) と比較して、線グラフ (x-y 交互作用と z-y 交互作用の差の平均 = 0.29) において、x-y の交互作用の説明の割合と z-y の交互作用の説明の割合に大きな差があった (Figure 4)
 - これらの結果は、棒グラフと線グラフのボトムアップの特徴が、提示されたデータの

解釈における影響を予測することを示す

- ◇ 加えて、この結果は、棒グラフより線グラフが、説明の種類に大きな影響を及ぼすことを示唆する
 - ◇ 対照的に、棒グラフは、 x - y 交互作用の説明と z - y 交互作用の説明を重要視することに関して、少しだけ柔軟性を提供するように見える
- 解釈の交互作用における親密性のわずかな影響があった
- ◇ 観察者は若干、親密性のあるグラフ ($M = 0.16$) より、親密性のないグラフ ($M = 0.19$) において交互作用の説明をしていた ($F(1, 51) = 3.9, p = .053$)
 - ◇ 加えて、観察者が、親密性のないデータにおいて x - y 交互作用の説明をより記述していた交互作用もあった ($F(1, 51) = 7.9, p < .05$; Figure 4)
 - ◇ さらに、交互作用の種類と親密性による形式のわずかな交互作用も見られた ($F(1, 51) = 3.2, p = .08$)
 - データに親密性がないときと、交互作用を最も顕著にする線グラフを見ているとき、個人はより x - y 交互作用説明を記述する
- この結果は、データに親密性がないとき、個人はよりグラフのボトムアップの特徴に依存しがちであり、ゆえに x - y 交互作用の説明を行うことを示唆する
- 交互作用の説明に対するグラフスキルの影響はなかった
- ◇ この結果は、ほとんど心的変換を必要としない解釈に、グラフリテラシースキルがほとんど影響しないことを示唆する
- 主効果の推測
- 観察者は、 x - y に焦点を置いた主効果の推測 ($M = 0.14$) より、 z - y に焦点を置いた主効果の推測をより行った ($M = 0.19$; $F(1, 51) = 7.7, p < .01$)
- ◇ これは、棒グラフと線グラフはどちらも、凡例の変数によってデータを分類するため、変数全体を比較しやすいという予測と一致する
- 予想通り、観察者は、親密性のあるデータでのみ、線グラフより棒グラフを見るときに、主効果の推測を行った (Figure 5)
- ◇ この結果は、観察者が主効果を予測する (馴染みのあるデータである) ときと、形式が推測をより簡単にするとき、主効果の推測をしやすいことを示唆する
- 予測に反して、 z - y の主効果より x - y の主効果において、形式の影響が大きくなる交互作用はなかった
- ◇ 最初の予測は、 x - y の主効果の推測は線グラフよりも棒グラフに支援されるが、 z - y の主効果の推測は線グラフと棒グラフの両方に支援されるということだった
 - ◇ この原因として考えられるのは、線グラフにおいて最も顕著な情報が、 x - y の交互作用であること (Carpenter & Shah, 1998; Shah & Carpenter, 1995)

- $x \cdot y$ の交互作用を記述するため、観察者は重要な情報を十分報告したと判断したのかもしれない
- ◇ もし、 $x \cdot y$ の主効果が棒グラフにおいてより顕著で、一つのフレーズで簡単に記述できるのであれば、観察者はより $x \cdot y$ の主効果を報告しやすいかもしれない
- 線グラフと棒グラフの両方が $z \cdot y$ の主効果を顕著にするという予測を検証するためには、自由記述でない課題が必要かもしれない

- 形式と親密性の交互作用に加えて、親密性の主効果があった ($F(1, 51) = 58.7, p < .01$)
 - ◇ 親密性のないデータを見るとき ($M = 0.09$) より、親密性のあるデータを見るとき ($M = 0.26$)、観察者はより主効果の予測を行った
- グラフスキルと親密性の交互作用も見られた ($F(1, 51) = 4.9, p < .05$)
 - ◇ 高いグラフスキルの観察者のみ親密性の影響を受けた
- さらに、二次の交互作用があった
 - ◇ 高いグラフスキルの観察者は、棒グラフの中の親密性のあるデータにおいてのみ、主効果をより多く記述した ($F(1, 51) = 4.2, p < .05$)
- つまり、主効果を暗算する知識を持っていて、個人が主効果について予測できるとき、個人はより主効果の推測を行った
 - ◇ そして、形式はそれらの推測を行うために、さらなる支援をした

Discussion

- 本研究の 2 つの主な結果
 - 先行知識とグラフィテラシースキルは、グラフ解釈にトップダウン的影響を及ぼした
 - ◇ 観察者は、親密性のないデータを見たときより親密性のあるデータを見たときに、より主効果の推測を行った
 - ◇ 高いグラフスキルの観察者は低いグラフスキルの観察者より、より主効果の推測を行った
 - 3 つの要因の交互作用が見られた
 - ◇ 高いグラフスキルの観察者は、先行知識やデータの親密性に基づいた推論を予想するとき、また、棒グラフの形式がそれらを支援するとき、より主効果の推測を行った
 - 本研究は、画像理解のインタラクティブ・モデルがグラフにも当てはまることを証明する

- グラフスキル、形式、親密性の交互作用は、場合によっては、グラフスキルが形式に大きく影響する可能性を示唆している
 - 高いスキルが形式に依存しないというインタラクティブ・モデルと矛盾する
- 初心者にとって、画像の種類が大きな影響を及ぼす他の研究 (Lowe, 1993) と、本研究の

結果は異なる

- ▶ 高いグラフスキルの観察者は、どんな形式がどんなデータを伝えるかについての知識を含んだグラフスキーマに基づいて形式を区別するかもしれない
 - ◇ もしそうならば、観察者が判断するために形式についての知識を用い、重要な情報を考慮して選ぶ自由記述課題では、形式に影響されやすいのかもしれない
 - ◇ もし特定の情報検索の質問に答えるような課題なら、高いグラフスキルの観察者は、形式に関係なく行うのかもしれない
- 線グラフと棒グラフのボトムアップ的特徴は、観察者の推論生成を含むデータ解釈に対して相当な影響があった
 - ▶ 観察者は、線グラフより棒グラフを見ると、 $z-y$ の交互作用の記述をした
 - ◇ そして、棒グラフより線グラフを見ると、 $x-y$ の交互作用の記述をした
 - ▶ $x-y$ の交互作用と $z-y$ の交互作用の説明の差は、棒グラフより線グラフにおいて大きかった
 - ▶ 観察者は、線グラフより棒グラフにおいて、主効果の推測を行った

理論的な意味

- 本研究は、画像理解が双方向のプロセスであるという証拠になる
 - ▶ 内容の親密性とグラフスキルの異なる影響は、画像理解のインタラクティブ・モデルの改良を示唆する
 - ◇ 先行知識は一つの要因ではなく、むしろ複数の要因と考えなければならない
- 本研究において、グラフスキルと同様に、内容の親密性も理解に影響し、それらの知識の種類は解釈プロセスの異なる側面での役割を担うかもしれないことが分かった
 - ▶ 先行知識は、観察者の目標に影響を及ぼし、観察者の暗算過程を維持する能力を支援し、観察者が自身の解釈が正しいという評価を行うのに役立つかもしれない
 - ▶ グラフスキルは、形式に関する個人の知識と、異なるグラフ形式から関連した推論を生成する方法を支援するかもしれない
- 本研究の理論的貢献は、先行知識がグラフ解釈のプロセスに、どのように影響するかという点
 - ▶ 今後のモデル研究は、画像表象のエンコードやデータの暗算といったグラフ理解プロセスにどのような先行知識が影響するのかについて、明確に示さなくてはならない

多変量データの画像にとっての意味

- グラフ解釈におけるボトムアップの影響は、多変量データの画像にとって、いくつかの意味がある
 - ▶ グラフデザイナーが、データの交互作用をハイライトしたい場合、 z 変数を仲介とした $x-y$ の関係の線グラフが役立つだろう

2018/07/03

輪講 (福岡)

- ▶ グラフデザイナーが、データの主効果をハイライトしたい場合、棒グラフが役立つだろう
- 一般に、観察者は、おそらく、相対的な解釈しやすさのために、線グラフより棒グラフを好む (e.g., Fortin, Hirota, Bond, O'Conner, & Col, 2001)
 - ▶ 数学教育の研究者も、線グラフを持ち出す前に、棒グラフの理解を教えることを提案する
- トップダウンの影響はさらに、グラフリテラシーと同様に、観察者の先行信念や予測も、形式に依存することを示唆する
 - ▶ 高いグラフスキルの観察者は、線グラフではなく、必要な暗算をする能力を援助する棒グラフを見ると、主効果の推測ができた
 - ▶ 低いグラフスキルの観察者は、棒グラフを見るとさえ、主効果の推測ができなかった
 - ◇ 低いスキルの観察者にとって、交互作用を提示するだけでなく、伝えられる重要な推論をはっきりと示すことが役に立つかもしれない
- 推論生成のために必要な計算プロセスは、グラフに示された情報を学び、思い出す個人の能力を支援できるかもしれない
 - ▶ データを理解するために複雑なプロセスを必要とするグラフ形式は、暗算を必要としないグラフ形式より、より良い記憶と、より良いデータ理解を導く (Shah, Freedman, & Miyake, in preparation)

今後の課題

- 視覚の特徴が、グラフ理解の間のヴィジュアル・チャンキングに影響するかどうか検討される必要がある
 - ▶ ex.色の似た、より大きな刺激が近くにあるか?
 - ▶ どんな要因が、近さと色の相対的な顕著さに影響するか?
 - ◇ グラフデザイナーは直観力に依存しているため、異なる図形特徴の使用に関して、より直接的なアドバイスを提供できるかもしれない
- 複雑さの変えられたグラフで検討する必要がある
 - ▶ 本研究において、非常に単純なグラフとわずかに複雑なグラフの間でさえ、解釈プロセスが異なることが分かった
 - ▶ 他の研究では、データが複雑であるとき、解釈プロセスも異なることを示唆する
 - ◇ 単純なデータより、複雑なデータにおいて、空間プロセスがより関連することを主張する (Trafton & Trickett, 2001)

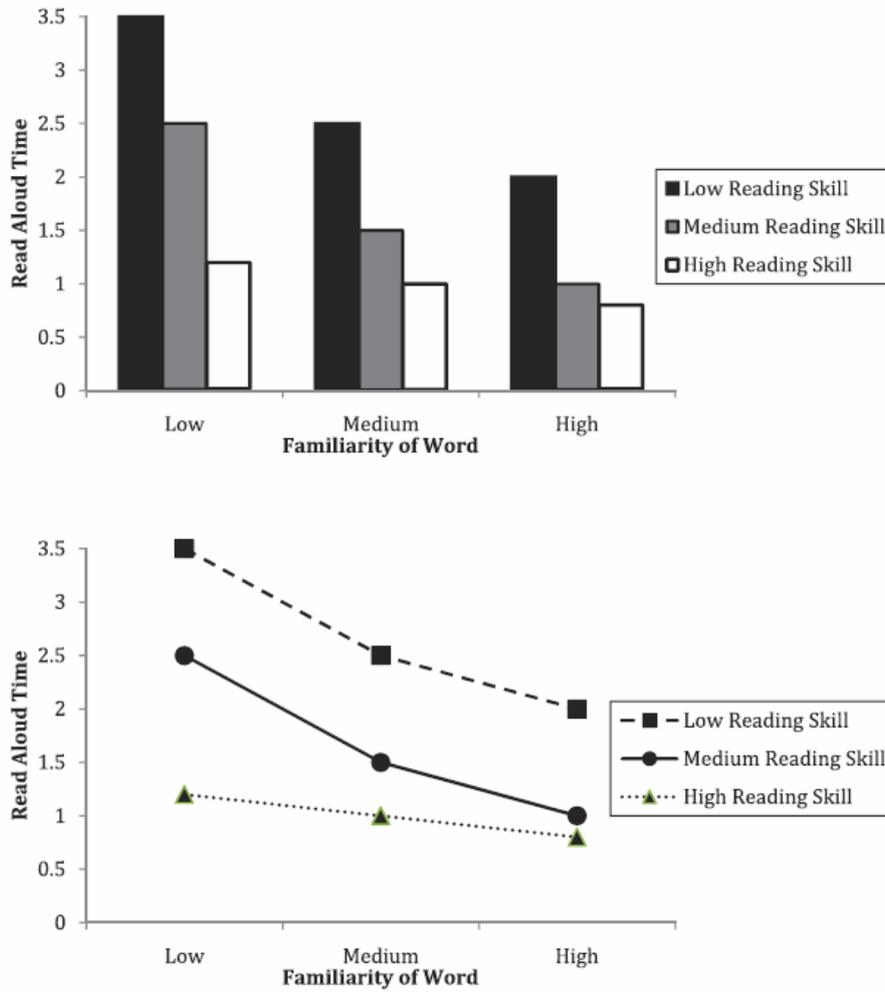


Fig. 1. Sample stimulus graphs. The bar graph (top) depicts the same data as the line graph (bottom).

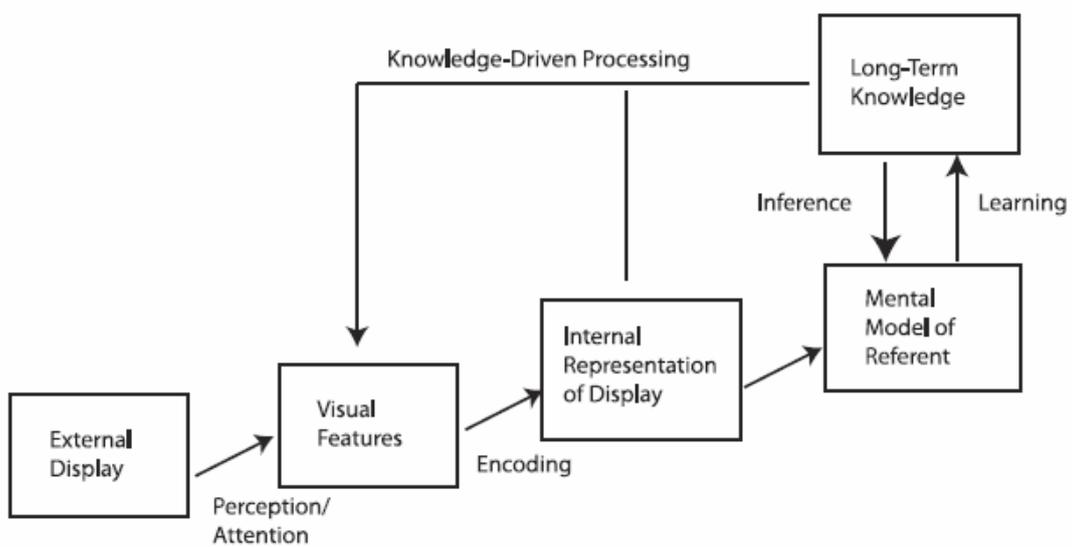


Fig. 2. Model of display comprehension proposed by Kriz and Hegarty (2007).

Table 1
 Interaction description (ANOVA results)

	<i>F</i> Test	MSE	Effect Size (partial η^2)
Format (Fo)	0.25	0.01	0.01
Type of interaction (Int)	52.0**	2.2	0.51
Familiarity (Fam)	3.9+	0.05	0.07
Graph skills (GS)	0.35	0.02	0.01
Format \times Int	8.3*	0.36	0.14
Format \times familiarity	3.7+	0.04	0.07
Format \times graph skills	0.62	0.04	0.01
Int \times Fam	7.9	0.16	0.13
Int \times GS	1.3	0.06	0.03
Familiarity \times graph skill	0.55	0.04	0.07
Fo \times Int \times fam	3.2+	0.06	0.06
Fo \times Int by GS	0.13	0.00	0.00
Fo \times fam by GS	0.06	0.00	0.00
Int \times Fam \times GS	0.49	0.01	0.01
Fo \times Int \times Fam \times GS	2.0	0.04	0.04

** $p < .01$; * $p < .05$; + $p < .1$.

Table 2
 Main effect description (ANOVA results)

	<i>F</i> Test	MSE	Effect Size (partial η^2)
Format (Fo)	2.6	0.18	0.05
Type of main effect (ME)	7.7**	0.13	0.13
Familiarity (Fam)	58.7**	1.6	0.54
Graph skills (GS)	5.8*	0.40	0.10
Format \times type of main effect	0.61	0.01	0.01
Format \times familiarity	4.5*	0.14	0.08
Format \times graph skills	1.8	0.13	0.03
ME \times Fam	3.2+	0.04	0.06
ME \times GS	1.1	0.02	0.02
Familiarity \times graph skill	4.9*	0.12	0.09
Fo \times ME \times fam	1.6	0.02	0.03
Fo \times ME by GS	1.1	0.02	0.02
Fo \times fam by GS	4.2*	0.12	0.08
ME \times Fam \times GS	0.27	0.00	0.01
Fo \times ME \times Fam \times GS	0.75	0.01	0.01

** $p < .01$; * $p < .05$; + $p < .1$.

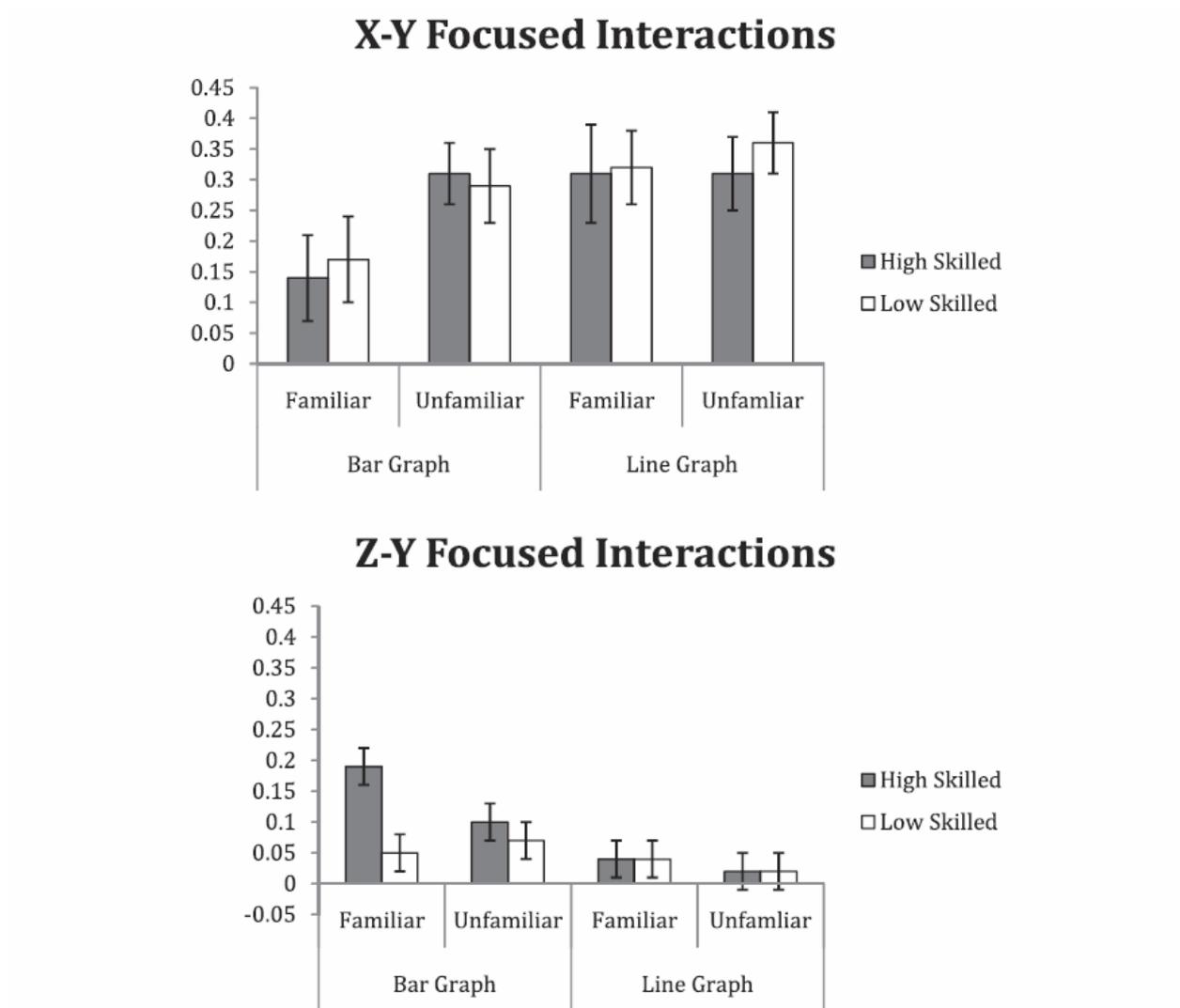
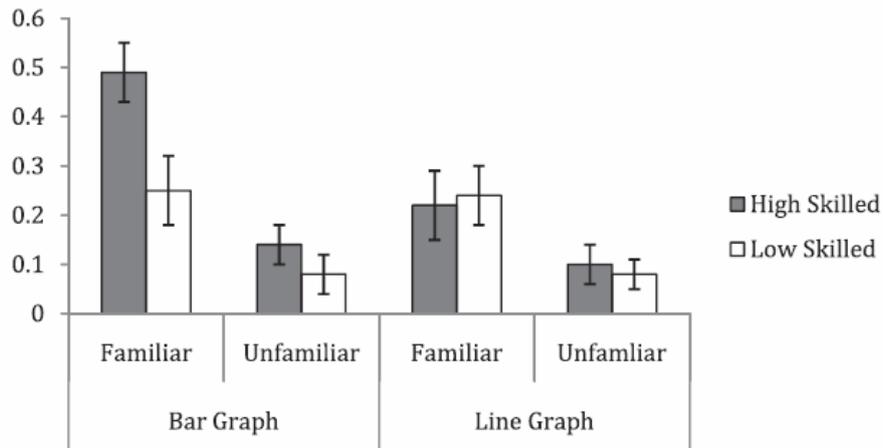


Fig. 4. x - y focused (top) and z - y focused (bottom) interaction description rate (proportion). Error bars depict standard error.

X-Y Focused Main Effects



Z-Y Focused Main Effects

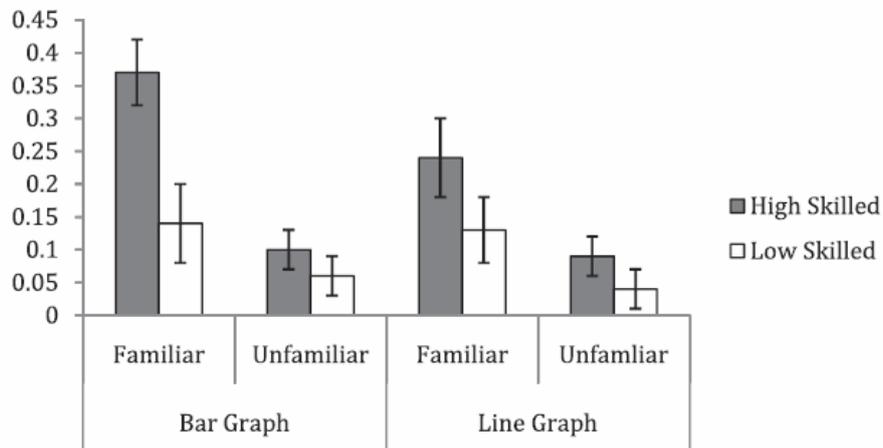


Fig. 5. x - y focused (top) and z - y focused (bottom) main-effect inference descriptions. Error bars depict standard error.