

Toward a Model of Knowledge-Based Graph Comprehension

Eric G. Freedman and Priti Shah

Proceedings of the Second International Conference on Diagrammatic Representation and Inference, Lecture Notes In Computer Science; pp. 18–30, 2002.

1 Introduction

- ◆ 視覚的な表現は情報を理解しやすくする
 - ⇨ グラフそのものが分かりづらかったり，グラフを見る人がグラフの解釈に困難を抱えているときは悲劇的な結果をもたらす
 - ◇ スペースシャトル・チャレンジャーの事故(Oestermeier & Hesse, 2000; Tufte, 1997)
 - 打ち上げのときに使用していた表示は冷気とO-ring の関係が見えにくいものだった（事故原因）→ 重要な関係は見えやすくしておくべきであった
 - 技術者が責任を持って，事前知識をデータの解釈に生かすべきであった (Hirokawa, Gouran, & Martz, 1988)
 - グラフの解釈は困難を伴い，エラーを誘発しやすいが (e.g., Maichle, 1994; Shah & Carpenter, 1995)，一方で量的な関係の理解を簡単にする (Tversky, 2001)
 - グラフの解釈を成功させる要因は何か？
 - ◇ 先行研究
 - グラフの視覚的な特徴が単純な事実の検索におけるスピードや正確性に影響を与えている(e.g. Kosslyn, 1989; Shah & Hoeffner, in press)
 - ◇ しかし現実世界において，どのように，量的な関係を説明する科学的な理論を発展させたり，理論とデータの整合性を判断したりしているのかは，はっきりしていない
 - ◇ 現実世界の文脈では，グラフを見る人の先行知識や，バイアスが大きな役割を果たす
 - ◇ 事実検索の正確性や速度は関係性や傾向の深い理解と比較すれば決定的なものではない
- ◆ グラフ解釈の研究において，近年，先行知識や能力についての研究もなされてきた
 - これらの研究結果をもとにグラフ解釈のモデルの発展を試みる
- ◆ The Construction-Integration (CI) model (Kintsch, 1988)
 - 文章と談話の解釈のモデル
 - このモデルがグラフ解釈の理解に有効なフレームワークを提供する
 - ◇ 読者のテキストについてのメンタルモデルがテキストの表層的な特徴と読者の先行知識や期待の両者に影響されていることを説明するモデルであるから

- 本論文では、この CI モデルがどれくらいグラフ解釈に適用できるかについて述べる

2 A Construction-Integration Model

- ◆ この章では、文章解釈の CI モデルのアウトラインとそれに関連するグラフ解釈の特徴について述べる
- ◆ CI モデルによれば、テキストの解釈は2つの段階に分けられる
 - Construction phase
 - ◇ 読者は文章的な情報とその文章に関連した先行知識のセットを活性化させる
 - ◇ 読者は文章構造などの表面的な側面がはじめに活性化され、先行知識や目的が文章の処理や情報のエンコードを促進させる
 - ◇ グラフの解釈においても同様に、初めの処理では視覚的な特徴が自動的に処理される
 - Comprehension phase (Integration phase)
 - ◇ 異なる知識を一貫した表象に結びつける
 - 情報が明示的に表現され、一貫した表現を形作るために推論などを必要としない場合は困難はほとんどない
 - 一貫した表現や課題に関連付けたりするために推論などを行わなければならない場合は困難を伴う
 - ◇ グラフの解釈において
 - 関連情報が視覚的に明示されており、先行知識との関連付けが容易で、推論が必要ではない場合は、困難はない
 - 認知心理学の研究者が **mental rotation** のデータの線グラフをみたとき、その研究者は **mental rotation** についての先行知識があるため、図の方向と反応時間の対応付けができ、グラフの視覚的な特徴と先行知識の関連付けが自動的になされる
 - 関連した先行知識の欠如やグラフに必要な情報が明示されていない場合は推論が必要となり、困難を伴う
 - 2 つの段階のサイクル
 - ◇ CI モデルでは、2 つの段階は交互にあらわれる
 - 読者は一文や小さい単位での表象を形成し、統合処理を行う。そして次の部分へ移る
 - ◇ グラフの解釈において
 - グラフ解釈中の **eye fixation** の実験において、シリアルな処理が確認されている(Carpenter & Shah, 1997)

- ◆ 我々は CI モデルのフレームワークを用いて、グラフの視覚的特徴と領域知識、グラフ解釈のスキルの三者の相互作用の予備的モデルを提案し、次章で詳述する (see Figure 1)
- visual feature unit
 - ◇ 視覚的な特徴
 - e.g. 「赤い線が増加している」
- domain knowledge
 - ◇ グラフを見る人の先行知識
 - e.g. 「一般的に、豊かな人々は車を持っている」
- proposition unit
 - ◇ グラフ内の情報の可能な解釈を行う
 - e.g. 「収入が増加するに従って自動車所有者の平均値が増加している」

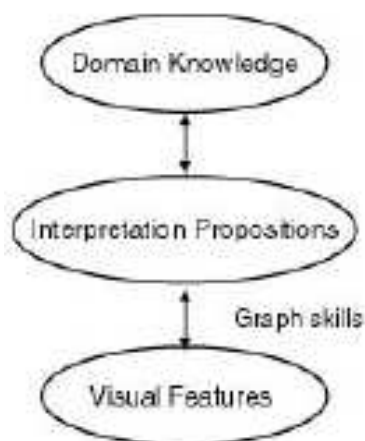


Fig. 1. Schematic illustration of CI model of graph comprehension in which visual features, domain knowledge, and graph skills influence the interpretation of data (Shah et al, 2001).

- visual feature unit と domain knowledge unit を graph skills がつないでいる
 - ◇ “good” なグラフを見る人のモデルはそのつながりが強い
 - ◇ “poor” なグラフを見る人のモデルはそのつながりが弱い
- このモデルで、グラフ・スキル high 群と low 群を用いた実験の結果が説明可能である(Shah & Shellhammer, 1999)

2.1 Display Characteristics

- ◆ グラフ解釈の CI モデルにおいては、視覚的な特徴は、low-level の知覚的な側面に影響を与えるのと同様に、high-level の認知的な側面にも影響を与える
- ◆ visual chunks
 - 心的にグループ化される、線グラフにおける個々の線、棒グラフにおける近接し

た棒のまとまりのようなもの

- visual chunk が適切に与えられるとグラフ解釈の正確さと速さが増す (Shah & Carpenter, 1995)
- 関係性や事実についての推論のために、関連情報が心的な変換を必要とする場合は、しばしば情報の正確な解釈ができなくなる (e.g. Casner & Larkin, 1989; Larkin & Simon, 1987; Shah & Carpenter, 1995)
- 先行研究において、グラフの表現を変更し、自動的な処理の構造を増やして処理の負担を減らすことによって、グラフの解釈が促進されることを確認した(Shah, Hegarty, & Mayer, 1999)
- ◆ 最も効果的な表現は、状況や目的によって決定される (Shah, Freedman, & Vekiri, forthcoming)
 - 線グラフでは x-y 関係の傾向が良く読み取られ(Carswell, Emery, & Lonan, 1993; Shah et al., 1999; Zacks & Tversky, 1999), 棒グラフよりも線グラフの方が, x-y 関係を正確に読み取られる(Carswell & Wickens, 1987)
 - 棒グラフや他の “separable” な表現は個々の事象の同定に適している. 一方線グラフは統合を求められるような時に適している (Carswell & Wickens, 1988)

2.2 Role of Prior Knowledge

- ◆ グラフの解釈に関わる 3 つの先行知識
 - domain knowledge
 - graphical literacy skills
 - explanatory skills
- ◆ domain knowledge
 - その領域の理論やモデル, 先行研究の結果, 方法論的な手法
 - accessibility による影響
 - ◇ 先行知識が用いられれば用いられるほど, よりその知識に access しやすくなる
 - ◇ expert は関連情報が自動的に活性化される
 - 推論処理に対する影響
 - ◇ expert viewer のほうが, グラフに表現されたことについての推論を行う (Gattis and Holyoak, 1996)
 - ◇ 文章の CI モデルにおいても, 先行知識が増加すると推論も増加する
 - expert と novice 先行知識 (Freedman & Shah, 2001)
 - ◇ 認知心理学と認知的発達のドクターの学生と学部生を対象に専門領域に関するグラフと専門とは無関連な分野のグラフを見せた (グラフ例: Figure 2)

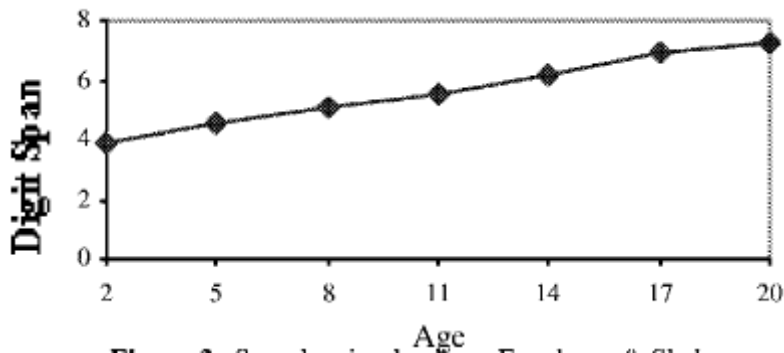


Fig. 2 Simple stimulus from Freedman & Shah (2001)

- ◇ novice
 - 主要な傾向についての記述
 - e.g. 「年をとるに従って鋭敏さが減少する」
- ◇ expert
 - 特定のパターンに関する詳述が増える
 - e.g. 「指数関数的に～」
- ◇ 結果
 - Figure 3a : 主要な傾向についての記述
 - Figure 3b : 特定の関数に関する記述の割合
 - expert は特定のグラフの数学的な傾向を見抜くグラフ・スキルが使える

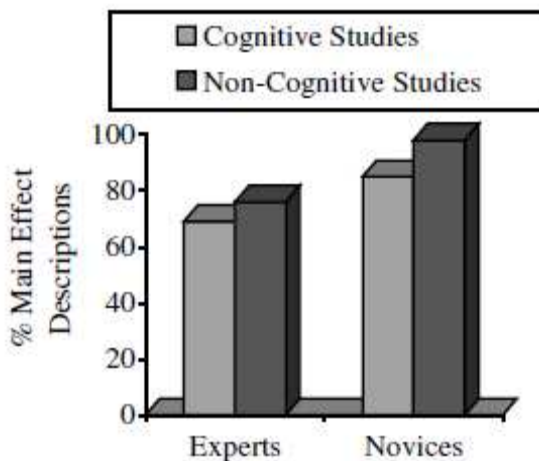


Fig. 3a. Percentage of main effect descriptions

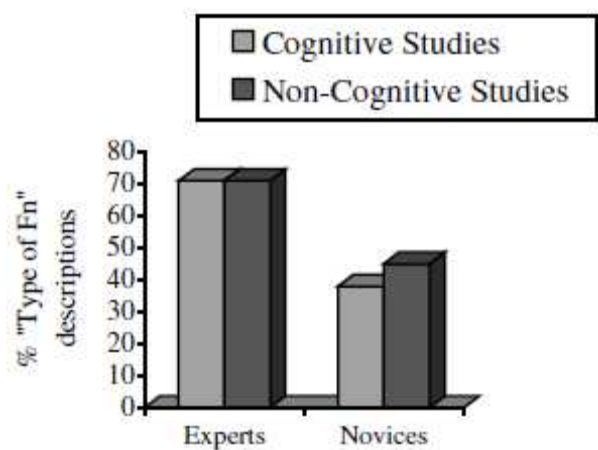


Fig. 3b. Percentage of description of line functions

- 親和的なデータについての解釈(Shah, 1995)
 - ◇ 身近な話題については、特定の傾向への期待（予想）を持ちやすい

- 自動車事故と飲酒運転と渋滞の関係
 - e.g. 「飲酒運転が増えると、自動車事故が増える」
- 予想される傾向から外れたデータの無視が起こる
- ◇ 予想を持たないような場合は一般的な傾向についての記述よりも、極大値や極小値の記述が増える
- ◇ グラフを見る人のグラフの傾向への親和性とその傾向を記述するかどうかに影響を与える
- ◇ 特定の傾向を期待する novice viewer はグラフに明示されていないことも記述する
- ◇ このように domain knowledge はグラフの解釈において組織的なバイアスやエラーを引き起こすこともある
- covariation assessment における先行信念の影響 (Broniarczyk & Alba, 1994; Jennings, Amabile, and Ross, 1982; Trolier & Hamilton, 1986; Wright & Murphy, 1984)
 - ◇ 実験データの解釈(Jennings, Amabile, and Ross, 1982)
 - 共変が起こるという先行理論を持っている人は実際のデータでは共変が起こっていないにもかかわらず、共変しているように見積もる
 - 人は、事象間の関係を過大評価する傾向にある
 - ◇ 表の解釈 (Wright and Murphy, 1984)
 - 先行信念の存在は共変への敏感さを増加させる
 - Wright and Murphy は先行信念の存在はノイズへの抵抗を増大させる意味があると解釈している
 - ◇ グラフの解釈 (Freedman and Smith, 1996)
 - 散布図の共変を評定させる
 - 先行知識がない被験者は保守的に評価
 - 先行知識を与えられた被験者は関連性を高く評価
 - 被験者は先行知識と実際のデータのすり合わせで悩む
 - novice viewer に対して解釈の制限時間を 30 秒にすると先行知識の影響がなくなる
- 先行知識の影響を減らす要因
 - ◇ グラフ刺激の特徴に注意を向けさせる(Sá, West, and Stanovich, 1999)
 - ◇ 先行信念の強弱
 - データがはっきりしていて、先行信念が弱いとき、先行信念は解釈に影響しない(Anderson & Kellum, 1992)
 - データがはっきりしていても、先行信念が強いと、解釈は先行信念に影響される (Anderson, 1995)
- CI モデルは先行知識が影響する処理をトップダウン処理として説明する

2.2.1 Graph Skills.

- ◆ CI モデルでは、グラフを見る人はそれぞれ、視覚的な特徴と解釈を結びつけるための異なる知識を持っている
- ◆ *graph schemata* (Pinker, 1990)
 - グラフに関する知識
 - ◇ e.g. 「x 軸と y 軸がある」, 「直線は線形関係を意味している」
 - CI モデルでは **construction phase** の初期に活性化され、グラフの要素の **chunking** を促進していると考えられる
- ◆ **Highly skilled graph viewer** と **Unskilled graph viewer** の違い
 - Shah & Shellhammer (1999)
 - ◇ 方法
 - グラフ・スキル: **Skilled** と **Unskilled** の実験参加者
 - グラフ・フォーマット: 線グラフと棒グラフ
 - 領域知識の有無
 - 領域知識があるグラフ (e.g., Age of owner vs. value of car)
 - アルファベットのラベルのみのグラフ (e.g., “A vs. B”)
 - ◇ 結果
 - 領域知識の有無とグラフ・スキルがグラフ・フォーマットに交互作用あり
 - 詳細不明
 - 領域知識がない **Unskilled viewers** は表面的な記述しかしなかった
 - e.g., 線グラフの個々の線の記述
 - **Skilled viewers** もしくは領域知識がある **viewers** は、グラフのフォーマットにかかわらずデータについての推論を行った
 - e.g., 全般的な傾向や主効果について
 - Similarly, Maichle (1994)
 - ◇ **poor skill** な人はデータの傾向によって解釈をするが、**good skill** の人は傾向の比較を強調する

2.2.2 Explanatory Skills.

- ◆ グラフが使われる主な理由はメカニズムやプロセスを説明するためである
- ◆ 数少ないグラフの解釈における説明の役割についての研究
 - Oestermeier and Hesse (2000)
 - ◇ 因果関係の説明のなかでグラフを使用するということはその見方に先行知識の存在を仮定するものである
 - ◇ 視覚的なデータの説明をする能力があるかどうかは、因果関係の概念についての抽象的な知識の有無による

- Tabachneck-Schijf, Leonardo, and Simon (1997)
 - ☆ (説明の?) expert は説明の最中に視覚的なグラフ化した思考を行っている
- なぜ novice は特異データを無視するのか
 - ☆ novice は特異なデータを無視しがちであるが (Chinn and Brewer, 1992), 逆に expert はそこに注意を向ける (Trafton and Trickett, 2001)
 - ☆ CI モデルでは, expert は特異点についての説明が活性化されるのでその解釈を行うが, novice はその説明が活性化されないので特異データを無視すると考えられる
- しかし, 説明プロセスがグラフの解釈にどのように影響するのかについての研究は, まだまだである
- ◆ データの解釈における科学的推論のスキルの熟達化の影響 (Freedman & Shah, 2001)
 - experts は novices よりもデータについての自発的な説明を生成する (see Figure 4a)
 - experts はそのデータの再解釈の可能性と追加の分析や研究が可能かについての示唆を評価していた (see Figure 4b)
 - experts は利用可能なデータ以上の解釈を行う
 - これらの結果は説明スキルは科学的推論のスキルの一部分であり, データの解釈に影響を与えるということを示唆

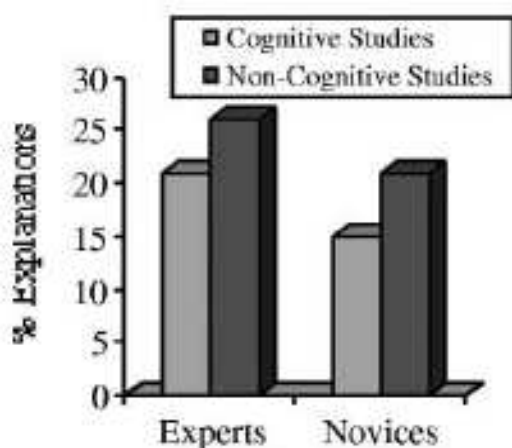


Fig. 4a. Percentage of explanations of data

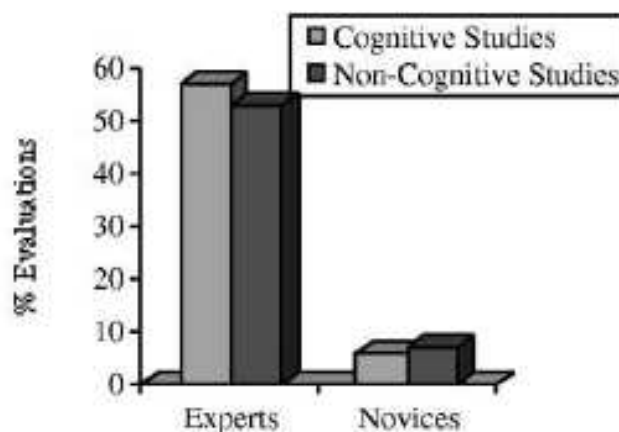


Fig. 4b. Percentage of evaluations of graphs

3 Conclusions

- ◆ 認知的な研究を概観してみて, グラフの解釈は視覚的な特徴のみに影響されるのではなく, viewer の領域知識やグラフ・スキル, 説明スキルや科学的推論のスキルに影響されるということがわかった

- ◆ これらの事象は文章理解に影響を及ぼす要因と類推的に理解できるため、我々は文章理解の CI モデル (Kintsch, 1988) に基づいたフレームワークでグラフ理解のメカニズムを検討した
- ◆ CI モデルはグラフ解釈の難易の原因の説明を可能にする
 - viewer が事前知識やグラフ・スキル, 説明スキルをもっているとき, それらは construction phase において活性化され, 自動的な情報検索が行われる.
 - しかし, 事前知識やスキルに乏しいときは, 推論プロセスによって計算をし, 多くの検索と比較を行わなければならない
 - 事前知識やグラフ・スキルはグラフの解釈に影響を与えるトップダウン処理である
- ◆ グラフ理解の知識ベースのアプローチにおける課題は, 先行知識と知覚的な特徴の相互作用の正確なメカニズムを特定することである
- ◆ 最後に
 - CI モデルから導かれた仮説はほかのモデルから導かれた仮説を比較検討されなければならない
 - このような, 先行知識と実際のデータの相互作用が実りある研究成果となっているのである