

1. Introduction

- 情報化時代の今日、意志決定者は多くのコンプレックス（利用可能な視覚的に示されたデータ）を抱える
 - しばしば視覚的に示されたデータは、それを理解するために関連する簡単な情報を作成するが、グラフのデザインが乏しかったり、グラフのデータを使用するユーザーが違ったりすると、悲惨な結果を招くこともある
- グラフの理解は努力を要し、間違いも起こしやすい
- グラフは情報を理解するために簡単な表現手段と思われるため、いたるところに蔓延する

- グラフ理解が上手くいくかどうかは何の影響か？
 - ほとんどの先行研究は視覚特性のデータに焦点を当て、グラフから簡単な要素を取り出す正確さとスピードの結果を考慮している
- 先行研究は、要素の回収を支援するためのガイドラインを示した
 - しかし、現実的な文脈においてガイドラインをどのように当てはめるかは明確ではない
 - ☆ 現実的な文脈：複雑なデータを基盤とする意志決定、科学理論の発達、理論とデータが一致しているかどうかについての判断決定など
- グラフ研究での基本的な問題
 - 理解プロセスの特徴づけと、グラフ形態、データ内容、解釈プロセスをかたどった解釈課題の原則に基づいた同一化

- 目的：先行知識と特徴を示した影響を組み込んだグラフ理解のモデルを作る
- Construction-Integration(CI)モデル：文章と談話の理解のモデル
 - グラフ解釈の理解に有効な枠組みを提供
 - 本論文では、どのようにこのモデルをグラフ理解に適用するかを記述する

2. A Construction-Integration Model

- グラフ理解において一致する特徴と文章理解の CI モデルの特徴の概要を述べる
- CI モデル：文章の理解は 2つのフェーズに分けられる
- ① construction phase :
 - 受け手は初め、文章と関連する先行知識と同じぐらいの文字情報を活性化させる
 - 読み手は利用可能な情報の表象（a coherent representation）の形成を試みる
 - 文章の表面的な面（文の構成や複雑性）は作られた表現の種類に影響する
 - 先行知識と目的は文章の初期過程とコード化された情報を導く
 - グラフ情報の初期過程では、データ処理を導く知覚的特徴が自動的に活性化する
- ② comprehension phase（integration phase）：

- 異なる知識と表象を結合する
- 必要な情報が文章に明記されていて、結論が表象の形成を必要としないとき、このフェーズで必要な努力は少ない
- 読み手が結論を出すために、表象を形成しなければならないとき、このフェーズは多大な努力が必要になる
 - ◇ グラフ理解も文章理解と共にこの特徴を共有する
- 関連情報が視覚的特徴に明記されていて、既有知識と簡単に結びつけられるなら、理解は少ない努力で行える
- 2つのフェーズは交互に起こる
 - グラフ解釈の研究と一致
 - 受け手は一度に一つの文もしくは小さな判断の表現を構成し (construction phase)、integration process を実行し、次のフェーズに移る
- 先行研究において、いくつかの認知的事象が明らかになっている
 - 人は直立でない図を提示されると、脳内で回転させる
 - 専門家は無意識にデータの理論的な解釈と視覚的特徴間のつながりを形成する
 - 知覚者に関連する既有知識が不足しているとき、もしくは表示されたものが推論されなければならない情報をはっきりと意味しないとき、理解するには多大な努力を必要とする
- グラフの特徴、領域知識、グラフ読み取り能力の相互作用的な影響からなる CI モデルを使用した枠組み
 - 文章理解の CI モデルと一致
 - 表現のタイプにはグラフ情報を使用する
- このモデルは3つの層に分かれている(Figure 1)
 - visual features :
 - ◇ グラフの性質
 - ◇ ex.赤い線は増加している
 - ◇ 異なる形のグラフがモデルにインプットされたとき、異なる visual features が起動する
 - domain knowledge :
 - ◇ 関係性についての先行知識
 - ◇ ex.一般的に金持ちは高い自動車を持っている
 - ◇ 領域知識の違いは異なる知識要素の活性化によって生じる
 - interpretation propositions :
 - ◇ グラフ内の情報の可能な解釈
 - ◇ ex.収入が増加したため、所有する自動車の平均価格は上昇した
- visual feature と domain knowledge は、グラフ読み取り能力と一致するリンクによって interpretation propositions とつながる

- “good” グラフを見た人は、visual feature と interpretation propositions 間の重要なつながりを感じる
- “pool” グラフを見た人のモデルは、visual feature と interpretation propositions 間の強い直接的なつながりを感じない

2.1. Display Characteristics : どのようにグラフプロセスに影響を及ぼすか

- グラフ理解の CI モデルによると、画像の特徴（色形など）は、グラフ理解の低い知覚的な面と高い認知プロセスの両方に影響を及ぼす
- グラフ理解のモデルのために、画像の特徴において最も重要な特徴は、情報がどのように集められるかに影響するもの（visual chunks）
 - visual chunks : 棒グラフのバーのグループもしくは線グラフの各々の線など
 - 関連性のある情報が visual chunks によって直接表現されるとき
 - ◇ 関連のある情報を十分に解釈でき、正確に早く情報を解釈できる
 - 関連のある情報を引き出すためにデータを内的に変換する必要があるとき
 - ◇ 読み手はしばしば情報を正確に理解できず、それらの関係性を考慮しない
- グラフ情報を再構成し、自動的な説明を増やすことで、プロセス負荷を減少し、integrative process の努力を減らす
- 最も効果的な表現は、状況か目的で決定される課題要求に依存する
- CI モデルの示唆するように、visual features はグラフの読み手の先行知識と相互作用しやすい
 - もし目的がデータのポイント間の相関的な差異を見つけることなら、情報は折れ線グラフで最も説明されるかもしれない

2.2. Role of Prior Knowledge

- 談話理解の CI モデルによると先行知識は construction phases と integration phases の両方に影響を及ぼす
 - 文章の内容についての先行知識や読み手の読み取り能力は文章解釈に影響を及ぼす
- いくつかのタイプの知識は、領域知識やグラフ読み書き能力、説明能力を含むグラフに用いられる
- 領域知識：グラフ情報の内容のいくつかのメンタル解釈、基本となる理論とモデル、先行研究での発見、方法論的技術を含む
- 領域知識の役割
 - グラフの推論プロセスを促進するだけでなく、より目立った数字上の関係を作ること
 - 意味のある機能レベルでのプロセスを導くこと
- Freedman and Shah (2001) : エキスパートとノービス間の領域知識の差異を実験
 - 認知心理学と認知的発達のドクターの学生と大学生に認知データ（RT と年齢）と非認

- 知データ（政治参加と年齢）を説明させた
 - **Figure2**：この実験における典型的な刺激
 - ◇ それぞれのグラフには従属変数と独立変数の短い説明が書かれている
- データの説明：
 - ノービスはより主な傾向を説明しやすい
 - ◇ ex.歳を取ると鋭さが減る
 - エキスパートは意味のあるより特異なパターンを説明しやすい
 - ◇ ex.指数関数
 - **Figure3a**：主効果の割合
 - **Figure3b**：特定の機能に言及した反応の割合 ex.増加勾配
- ノービスとエキスパートの差異
 - ノービス：エキスパートと同頻度で無意味で無関係な詳細を説明する
 - エキスパート：関連した詳細と関連していない詳細間を区別する
- ノービスはグラフ表示の低レベルの知覚プロセスに頼る傾向がある
- 一方、エキスパートはデータの特異な意味のある傾向を見つけるためにグラフ能力を使うことができる

- **Shah (1995)**：
 - 一つ目の研究：傾向について予想した身近なデータとなじみのないデータの解釈を比較
 - 観測者の傾向の熟知は傾向を述べるかどうかに影響した
 - ◇ 観測者に予想があるとき、一般的な傾向と矛盾するデータを無視して、それらの関係を述べやすい
 - ◇ 観測者に予想がないとき、一般的な傾向を述べにくく、極端なことを述べやすい
- 二つ目の研究：グラフが関係を表現しなかったとき、ノービスは期待される関係を説明した
 - 領域知識はグラフの解釈のバイアスとエラーを導く（systematic biases and errors）

- 先行知識の影響の研究では、共変動評価（covariation assessment）における先行信念の影響を実験した
 - 共変が起こるといふ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
 - 人は一般的に事象間の関係を過大評価する傾向にある
- 先行信念は表形式で示されたデータの共変動の感受性を増加する
 - 関係について予想がないときより、予想があるときの方が、共変動評価が高い
 - 先行知識は人々にノイズに対する対抗力を持たせる
- **Freedman and Smith (1996)**：観測者に散布図の共変動を見積もらせた
 - 先行知識のない場合：観測者の見積もりは相対的に控えめになる
 - ◇ 一方、テーマが散布図に関係しない度合いを見積もる場合、相対的に性質間の関係の高い度合いを説明する

- 先行知識がある場合：先行信念と利用可能なデータの折衷案を考える
 - ◇ しかし、制限時間を 30 秒にしない限り、先行信念は散布図についての判断に影響しなかった

- 先行信念は判断に影響を与える
- 一方、参加者が刺激の特徴を知っている場合：
 - 先行信念の影響を減らし、信念と一致しないデータの影響を受ける
- 先行信念の影響はデータや信念の強さに左右される
 - データがはっきりしているとき：弱い先行信念は解釈に影響しない
 - 先行信念が強いとき：はっきりしたデータの解釈でさえバイアスがかかった
- データ解釈の先行知識の研究は、先行知識が働くとき、グラフ情報のエンコードとプロセスを導くことを支持する
- CI モデルは、表示特徴のプロセスと結果の種類のトップダウン的影響に関しての先行知識の影響からなるメカニズムを与える

2.2.1. Graph Skills

- 観測者は異なる visual feature とそれらの解釈間の関連についての知識において差が出る
- グラフ理解の CI モデルはもともと Pinker (1990)が提案した
 - グラフスキーマはビジュアル表現を概念表象に転換することを仲介する
 - ◇ グラフスキーマ：グラフについての先行知識も含む
 - ◇ ex.直線は一次関係がある、グラフ形式の性質の知識など
- 高いグラフスキルを持つ観測者はグラフのビジュアル特徴の影響を受けにくい
 - グラフ形式と結論間に関連があるため
- グラフスキルのある観測者とない観測者の線グラフと棒グラフの解釈を比較した実験 (Shah & Shellhammer, 1999)
 - 領域知識の個人差を比較するために、参加者の半数に身近な意味のある内容の線グラフと棒グラフを見せた
 - ◇ ex. 所有者の年齢と自動車の値段
 - 残り半数には意味のない内容のグラフを見せた
 - ◇ ex. A と B
- 全体的に、グラフの読み取り能力と領域知識は両者ともグラフ形式と交互作用した
 - スキルのない観測者および領域知識のない観測者は、データの表面的な説明をした
 - ◇ ex. 線グラフの個々の線について記述
 - スキルのある観測者および領域知識のある観測者は、形式に関わらず、データについて推論した
 - ◇ ex. 一般的な傾向や主効果について記述
- グラフ知識はグラフ解釈のバイアスを引き起こす

- 観測者のグラフや地図のスキーマはそれらの表象を歪ませる
- 記憶の線“グラフ”を描いた参加者は線を 45° に近づくように歪める傾向にあった
- しかし同じ図が“地図”を示すと言われた場合、 0° または 90° に近づくように歪められた

2.2.2. Explanatory Skills

- グラフが使われる主な理由のひとつは、基礎メカニズム、もしくは基礎プロセスを説明するため
- Oestermeier and Hesse (2000) :
 - 原因の解釈を示すグラフの使用はその領域の先行知識があることを前提とする
 - ビジュアルデータを解釈する能力は、原因についての概念知識によって決まる
- Chinn and Brewer (1992)・ Trafton and Trickett (2001) :
 - 例外を扱う先行知識の役割を実験
- グラフ理解の CI モデルと一致する一つの解釈 :
 - ノービスは例外を無視するが、エキスパートは例外に焦点を当てる
- Freedman & Shah (2001) : データの解釈スキルを含む科学的推論スキルの専門知識の影響
 - エキスパートはノービスより自動でデータの解釈を行いやすかった (Figure 4a)
 - エキスパートはデータの可能な再解釈を示す研究 (study) の評価を与えやすく、追加の可能な分析および研究を提案した (Figure 4b)
 - エキスパートは利用可能なデータの説明以上のことをするために先行知識を使う
- 解釈スキルは、解釈のタイプに影響する科学的推論能力の構成要素
- エキスパートは、construction phase の間知識が自然に活性化するので、解釈を提供するのかもしれない

3. Conclusions

- グラフ理解は、グラフの特徴を示すことによってだけでなく、観察者の領域知識、グラフ読み取り能力、説明的科学的推論能力によっても影響することを主張している
 - 文章理解に影響を及ぼす要因に似ている
- 文章理解のモデル (CI モデル) は先行知識と知覚特性の交互作用による正確なメカニズムを考慮した有効なモデルの枠組みを提供する
 - CI モデルは、グラフ理解が提示特徴と先行知識間の交互作用を含むことを前提とする
- グラフ解釈での相対的な容易さ／難解さは、グラフからの異なる種類の情報を理解する 2 種類のプロセスによって起こる
 - CI モデルに関して、もし個人が領域知識かグラフスキル、説明スキルを備えている場合、情報は construction phase で読み取られる
 - 備えていない場合、情報は推論プロセスによって計算されなければならない
- 談話理解の CI モデルと一致するなら、先行知識はグラフの早いプロセスで活性化する

- モデルは、観測者のグラフ形式についての知識、変数間の関係についての予測が解釈の種類にトップダウン的に影響することを提案する
- しかし、ノービスは **integration phase** で先行知識を活性化できないかもしれない

- この論文で見直された研究は我々の「観察者はグラフ情報のプロセスに関する数タイプの知識を持っている」という主張をさらに支持する
- グラフ理解に関わる基盤知識の大きな課題は、先行知識と知覚要因がお互いに関係する正確なメカニズムを明記する必要性である
 - 表示特徴と先行知識の両方を操作して実験する必要がある
- CIモデルと他の可能なモデルを区別することができる検証可能な予測するために、CIモデルは用いられなければならない
 - 先行知識とデータの交互作用を評価することは今後の研究にとって有益な手段

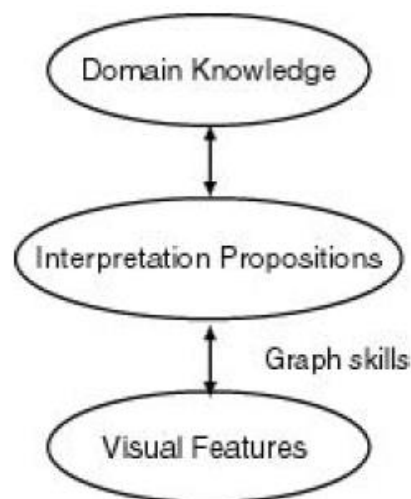


Fig. 1. Schematic illustration of CI model of graph comprehension in which visual features, domain knowledge, and graph skills influence the interpretation of data (Shah et al, 2001).

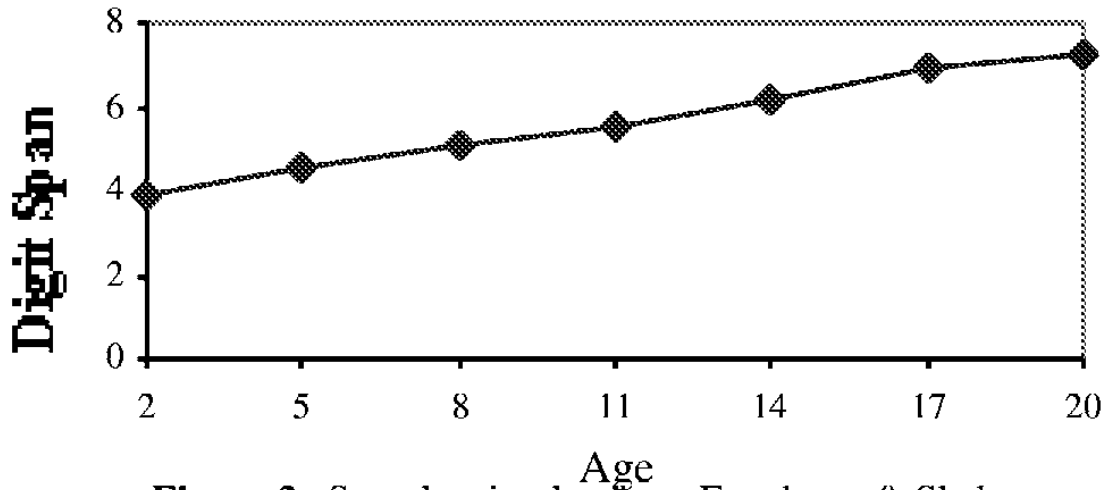


Figure 2. Sample stimulus from Freedman & Shah (2001).

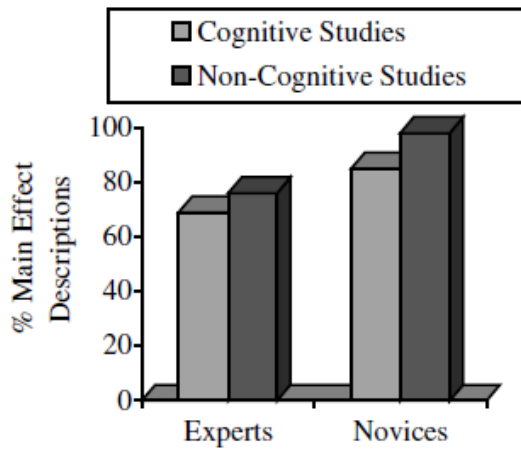


Figure 3a. Percentage of main effect descriptions

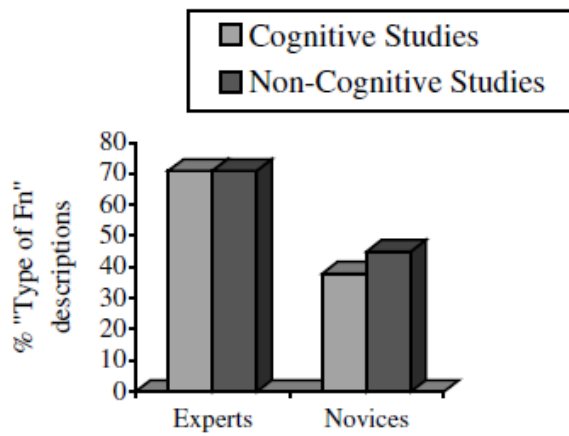


Figure 3b. Percentage of description of line functions

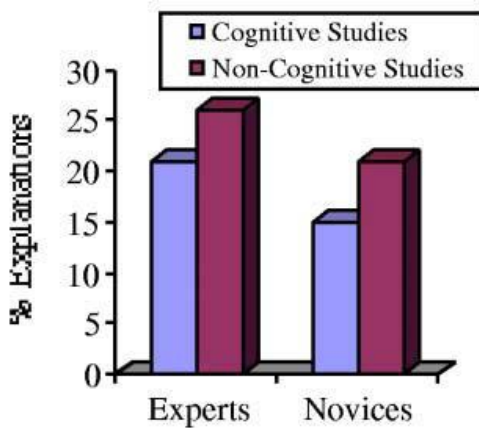


Figure 4a. Percentage of explanations of data

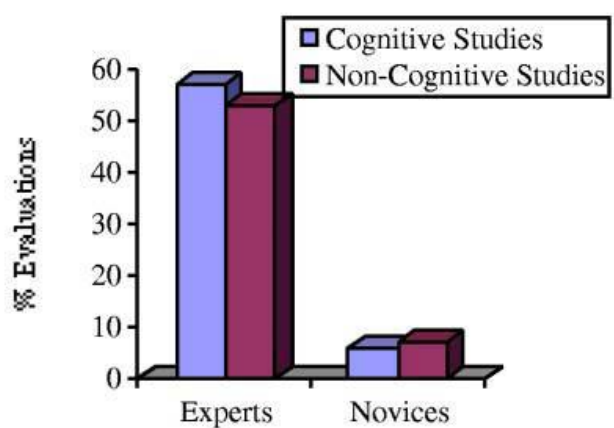


Figure 4b. Percentage of evaluations of graphs.