

Individual Differences in Graphical Reasoning

Aidan Feeney, John Adams, Lara Webber & Michael Ewbank

Lecture Notes in Computer Science : Diagrammatic Representation and Inference,
Vol.2980, pp.271-285, 2004

1 Introduction

- 私たちは対象間の関係を空間的なアナロジーとして表現している
- 空間的なアナロジーを図的な情報として表象化している
- 空間的な表象は数の認知とも関係しており, (native English speakerにとっては) 心的表象の中では小さい数はより左に, 大きい数はより右に並んでいる (SNARC effect)
- 本研究の目的はグラフを見るときに, 空間的な方略を使用している人は空間的な能力に優れているかどうかを検討すること

1.1 Spatial Representations of Graphical Information

- 著者らの一連の先行研究において, ヒトは空間的なアナロジーによって図的な情報を表現しているということが確かめられてきた
 - ✓ 使用した課題はFig.1
 - ◇ AとCの関係は上段は上昇していて, 下段は下降している
 - ◇ 左のセット (上段 or 下段) を見て右のどちらか (上段 or 下段) を呈示され, 正誤を判断
- もしグラフを見るときに空間的な表象を使っているのなら, 並び替えの効果が予想される
 - ✓ 上段 (separate) は並び替えが必要ないが, 下段(together)は心的表象の中で並び替えを必要とする ⇒ 処理時間がかかる
 - ✓ Separate において *consistent* 条件が速くエラーも少ない
 - ✓ Together においては *inconsistent* 条件が速くエラーも少ない

1.2 Spatial Strategies for Thinking

- ヒトは思考の際に, 空間的な方略を使っている
- 空間的な方略の能力と使用には個人差があり, 当該の能力の指標と課題解決の間の関連性を調べる研究も多い
- 本研究ではグラフから情報を読み取る時の成績と時間の観点から, 空間認知能力との関係性を検討する
-

2 Experiment

2.1 Method

- **Participants:** 大学生 48 名
- **Materials:** 各実験参加者は4つの課題を行った (そのうちの一つは本研究の目的からは外れるのでここでは論じない) . 課題の順序はカウンターバランスをとった
 - ✓ **Graph Comprehension Task:**
 - ◇ 3名のセールスマンの一カ月の売り上げ成績

- 棒グラフの高さ：高/900mm, 中/600mm, 低/300mm
 - ◇ premise display ⇒ conclusion display
 - ◇ グラフの表現
 - premise display
 - non-repeated terms
 - ◇ separated by the repeated term : Bが違う位置にある (Fig.2)
 - ◇ together : Bが同じ位置にある (Fig.3)
 - 傾き
 - ◇ 右肩下がり・下降 (Fig.2)
 - ◇ 右肩上がり・上昇 (Fig.3)
 - conclusion display (Fig.4)
 - 売上げ高と売上げ低の関係を抜き出したもの
 - 位置の入替わり (順・逆) × ラベルの入替わり (正・誤)
 - premise display 4タイプ × conclusion display 4タイプ ⇒ 16通り
4セット行った ⇒ 64試行
 - ◇ 手続き
 - 注視点が1000ms出た後, premise display が呈示され, 参加者がスペースキーを押すと conclusion display が呈示される
 - 参加者はpremise display と conclusion display の内容が同じかどうか Yes or No のキー押しで反応
- ✓ **Number Judgement Task:**
- ◇ 呈示された数 (1 - 4 and 6 - 9) が基準の数 (5) より大きい小さいかを答える
 - ◇ 2ブロック
 - ブロック 1 : 基準より大きかったら右ボタン, 小さかったら左ボタンを押す
 - ブロック 2 : 基準より大きかったら左ボタン, 小さかったら右ボタンを押す
 - ◇ 各ブロック80試行
 - ◇ ブロックの順序はカウンターバランス
- ✓ **Complex Spatial Span:**
- ◇ ある文字とそれを様々な方向に回転させた文字がPowerPointで呈示される
 - ◇ 回転された文字の半数は鏡文字
 - 使用した文字 : F, J, P, L, R
 - 呈示の角度 : 45度~315度までの 7方向
 - 70種の刺激 (文字5 × 方向7 × normal/mirror image)
 - ◇ 手続き
 - 各実験参加者当たり 5試行 × 5セット
 - 1セット
 - 回転呈示された文字が鏡文字かどうかを判別する
 - 1セット終了後, 回転呈示された文字の方向を順番に思い出して回答する
 - ◇ 画面に各方向に穴のあいた円が呈示され選択
 - セットが増えるごとに文字が追加されていく (難易度が上がる)
 - 1セット目2文字 → 2セット目3文字 → … → 5セット目6文字

2.2 Results

➤ Graph Task:

- ✓ 全体のエラー率： 6.41% (S.D. = 15.82%)
 - ◇ エラー率が平均+ 1 SD以上の実験参加者4名を分析から除外
 - ◇ 4名を除外したエラー率： .36%.
 - ◇ premise と conclusion が異なる試行におけるエラー平均は4.19%
 - ◇ 以下では, premise と conclusion が合っている試行についてのみ分析を行う
- ✓ Inspection Times
 - ◇ 誤反応と100 ms 以下での反応, 平均+2SD(mean = 3349ms, S.D. = 2852ms)以上での反応を除外した. 除外率 4.2%
 - ◇ 2 (傾き : 下降・上昇) × 2 (End Terms : separate・together) の2要因被験者内分散分析
 - どの要因の主効果も交互作用も有意ではなかった
 - 予想に反して End Terms も主効果なし($F(1, 43) = 1.11$, $MSE = 425295$, $p = .30$)
 - ◇ Premise display の時間は separateのほうが, together よりも短かった (2855ms vs. 2958ms)
- ✓ Verification Times (Table 1)
 - ◇ 全正反応のうち, 100 ms~平均+2SD (平均1985ms, SD=1226ms) の反応を分析 (3.61% が除外)
 - ◇ 2 (一貫性) × 2 (傾き) × 2 (End Terms) の3要因被験者内分散分析を実施
 - ◇ 傾きの主効果あり ($F(1, 43) = 5.78$, $MSE = 93477$, $p < .03$)
 - ◇ 一貫性とEnd Termsの1次の交互作用有意 ($F(1, 43) = 4.54$, $MSE = 98026$, $p < .04$)
 - ◇ 3要因の2次の交互作用有意傾向 ($F(1, 43) = 3.55$, $MSE = 141458$, $p < .06$).
 - 単純交互作用の検定の結果
 - 傾き・下降における一貫性とEnd Termsの交互作用が有意であったが ($F(1, 43) = 6.77$, $MSE = 139849$, $p < .02$), 傾き・上昇におけるそれらの交互作用は有意ではなかった ($F(1, 43) < .01$).
 - ⇒ なぜ傾き・下降だけ一貫性とEnd Termsの交互作用が現れたのか
 - 人は左から右へ下降するほうが自然に理解できるから

Table 1. Mean verification times by Slope, End Terms and Consistency.

End Terms:	Descending		Ascending	
	Separate	Together	Separate	Together
Consistent	1738	1918	1787	1765
Inconsistent	1960	1847	1805	1792

➤ Number Judgement

- ✓ 平均エラー率 2.15% (一番エラーした参加者 12.5%)
- ✓ 正反応の時間について, 2 (block : 大きいときに右押し・左押し) × 8 (数)

の被験者ない分散分析を実施

- ◇ Blockの主効果あり($F(1, 47) = 12.66$, $MSE = 45555$, $p < .001$)
- ◇ 2要因の交互作用有意($F(7, 329) = 3.28$, $MSE = 3748.3$, $p < .005$)
- ◇ 一対比較により, SNARC effect が 基準より大きい数すべてで確認された. (小さい数では 1 でのみ確認された)
- ◇ 左手で小さい数を, 右手で大きい数を答えるときに反応が速くなる
- ◇

➤ Individual Difference Analyses

- ✓ 平均反応時間は 3.34 (SD= 1.10)
- ✓ complex spatial span と図的・数的情報についての傾向の関係性を検討するために, 指標を定義
 - ◇ index for the number judgement task (NSI)
 - R-LとL-Rの平均反応時間の差分
 - 平均60.74 ms, SD=108.21 ms
 - この指標が大きいほど SNARC effect が大きい
 - ◇ spatial index for the graph task (GSI)
 - End Terms togetherとEnd Terms separate のinspection timesの差分
 - この指標が正だということは, togetherのときの並び替えているところ
 - 26名が正の値, 18名が負の値. 平均 103.40 ms (S.D. = 652.15 ms)
 - ◇ GSI と complex spatial span
 - GSI が正の実験参加者のcomplex spatial spanとGSIが負の実験参加者のcomplex spatial spanの平均に有意さあり(正>負: $t(42) = 2.39$, $p < .05$).
 - GSI が正の実験参加者の平均: 3.65 (S.D. = 1.06)
 - GSI が負の実験参加者の平均: 2.89 (S.D. = 1.02)
 - spatial span と graphical reasoning のエラー率の間には有意な相関はなかった ($r = .09$, $p > .5$)
 - spatial span と graphical reasoning の inspection times ($r = -.08$, $p > .6$), spatial span と verification times ($r = -.17$, $p > .2$) にも優位な相関はなかった
- ⇒ complex spatial span は graph task における能力よりも, 課題遂行の方略と関連がある
- ◇ GSI と NSI の間には緩やかな相関が見られた ($r = .34$, $p < .04$)
- ◇ GSI と complex spatial span の間には緩やかな相関が有意傾向で見られた($r = .29$, $p < .07$)

3 Discussion

- 本研究の結果は少なくとも一部のヒトはグラフの読み取り時に空間的な表象を生成していることを示した
 - ✓ グラフスキーマや, グラフの表現に読み取りが影響されるという近年の先行研究に反する結果
- SNARC を追試した
- **Individual Differences in Graph Comprehension**
 - ✓ グラフの読み取りと空間認知能力に関係があることが確かめられたが, 読み取りのパフォーマンスには影響が見られなかった

- ⇒ 課題が簡単すぎた
- ⇒ グラフの読み取りは空間認知能力だけでは決まらない

■ **Conclusions**

- 我々の結果はヒトがグラフを読むときに、空間的な表象を生成することを確認めた
- また、それらは SNARC effect の大きさに依存することも確認した

図表

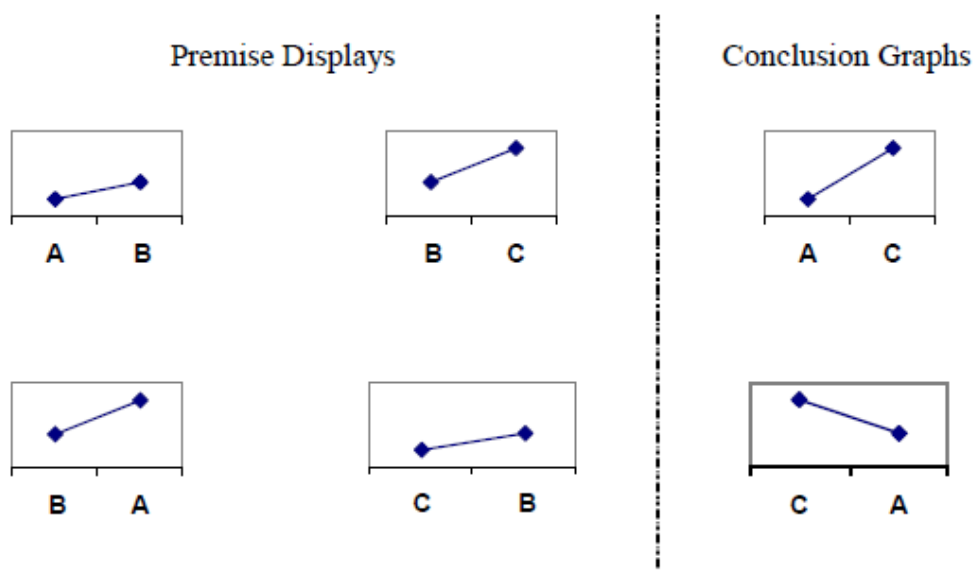


Fig. 1. Sample materials from graphical relational reasoning task

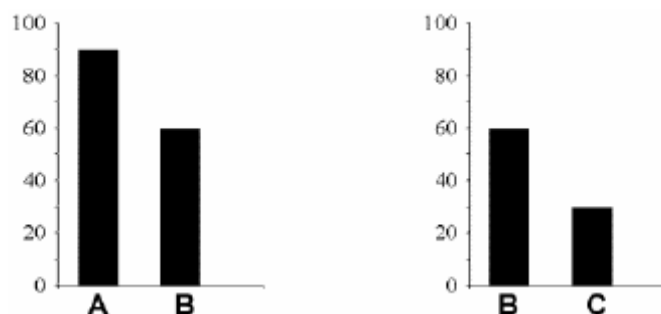


Fig. 2. Two simple bar graphs with separate end terms and descending slope

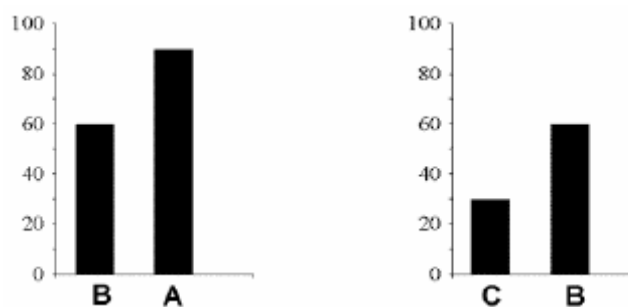


Fig. 3. Two bar graphs with adjacent end terms and ascending slope

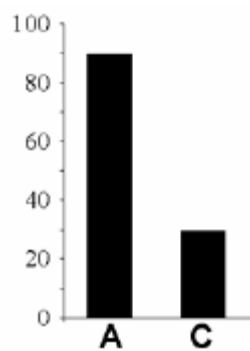


Fig. 4. A bar graph representing the valid and consistent conclusion that follows from the premises depicted in Fig. 1

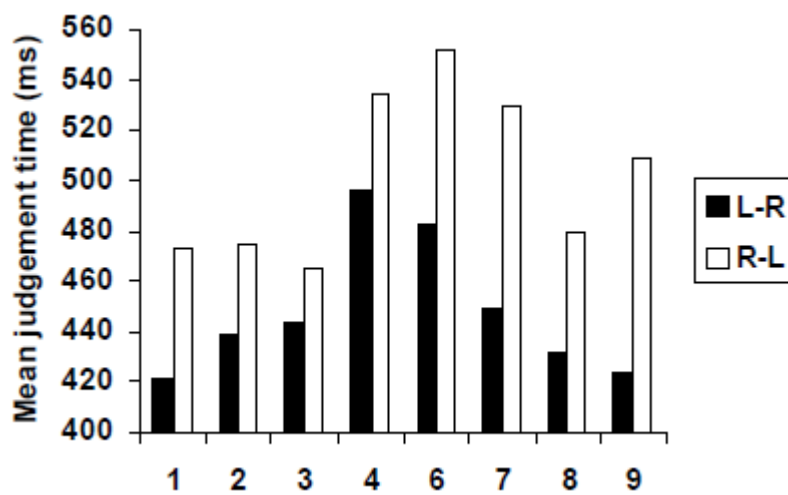


Fig. 5. Interaction between Number and Block from the SNARC task