

Visualizing space, time, and agents: production, performance, and preference

Angela Kessell and Barbara Tversky

COGNITIVE PROCESSING, 12(1), pp.43-52 (2011)

Keywords: Diagram, Production, Comprehension, Preference, Space, Time

■ Introduction

- 人や物の時間的空間的移動をアレンジしたり、理解したり、追跡したりすることは、科学、ビジネス、日常生活においてありふれた問題である (e.g., Taylor and Tversky 1997; Wagenaar 1986; Zwaan and Radvansky 1998)
- このような複雑な問題は、視覚化によるグループ化、単純化、配列によって、空間的な比較や空間的な推論が可能になり抽象的な思考ができるようになる(e.g., Larkin and Simon 1987; Tversky 2001)
 - ◇ 空間や時間、人や物などは、多くの視覚的な表現に共通の要素だが、情報を表現するのに適していないものが多く見られる
- 複数地域における、時間の経過による人口とGNPの変化を表現するときには、線で表すことによって地理的な情報は失われてしまうが、変化の対象となるもの（人口やGNP）の時系列的な変化を表現することができる
 - ◇ 線で結ぶことは、視線をひきつけるだけでなく、変数の傾向に対する思考にも影響を与える(Zacks and Tversky 1999)
 - ◇ しかし、一つの変数を強調することは他の変数についての推論を妨害してしまうかもしれない
 - 特定の文脈がある状態では、その文脈に関連した情報が強調されることは、他のタイプの視覚的表現よりも有利であるだろう
- しかし、すべてのケースが、連続的な時間経過や地理的配置についての解決を要求しているわけではない
 - ◇ スケジューリングなどの状況では、場所、時間、人/事物の要素が含まれるが、この場合はこれらの要素は本質的には、カテゴリカルである
 - ◇ このような場合の規範的な表現についての研究はされてこなかった
- 時間的情報や空間的情報を二次元の視覚的表現上にどのように配置するのがヒトの認知に合致しているかということは、それぞれ個別には研究されてきた(e.g., Heiser et al. 2004; Hurley and Novick 2006; Novick et al. 1999; Tversky et al. 2000, 2006)
 - ◇ 時系列的な関係は水平(e.g., Boroditsky 2001; Clark 1973; Tversky et al. 1991)
 - ◇ 空間的關係は二次元的に受け取った情報を基にして、水平と垂直両方(Tversky 1981)
 - ◇ しかし、時間と空間、人や事物を1つの二次元的表現にしなければならないときは、人々はこれらをどのように配置するのだろうか

- 地図など、効果的な視覚表現の発展では、生成→他者による解釈や利用→改良という相互的作用的なプロセスが行われてきた(Clark 1996)
 - ◇ これらの中では、生成 (production) , 選好 (preference) , 成績 (performance) が3つの重要な課題である
- 本研究の課題としては、実験参加者である大学生にとって身近で考えやすい、空間、時間、人物/事物の組織化を取り上げた
 - ◇ 時間ごとの学生たちの移動を追跡する課題
 - ◇ 人物と場所はカテゴリーカル、時間は順序性あり

■ Study 1: production of visualizations

➤ Methods

- ◇ Participants : 大学生172名 (単位の一環として)
- ◇ Stimuli : 実験参加者は以下の教示に従って、問題を完成させた
あなたは、友人たちが一日の間にどこにいるかすぐに答えられるように追跡しなければなりません (質問例: アレックスとデビッドは繁華街に一緒にいますか? / 何人が午後のスポーツジムにいますか?)
あなたが追跡する情報は…

人物: アレックス, デビッド, ジャスティン, サミー

場所: 寮, 図書館, 繁華街, スポーツジム

時間: 朝, お昼, 午後, 夜

下の空間を使って、これらの質問に早く正確に答えられるように情報を配置する方法を考えなさい

Suppose you need to keep track of where your friends are during the day so that you can answer questions like: Were Alex and David together downtown? Or, how many people were at the gym in the afternoon? Did Justin go to the library before he went to the movies?

Here is the information you will have to keep track of:

People: Alex, David, Justin, Sammy

Places: dorm, library, downtown, gym

Times: morning, noon, afternoon, night

Using the space below, please invent a way to display that information so you can answer

those kinds of questions as quickly and accurately as possible.

- 「人物」「場所」「時間」の3つの変数の順序は参加者間でカウンターバランスした
- 課題従事時間は参加者に任せたが、ほとんど約5分であった

➤ Results

- ◇ 教示に従わなかった12名を除外した160名が分析対象
- ◇ 変数の呈示順序の効果はなかった ($P_s > .10$) ので、全員合わせて分析した
- ◇ 2名の評価者によって生成された視覚的表現を分類した
 - 行列 (matrices) : 75%
 - ほとんどが1つの変数を1度ずつ使うシンプルな行列
 - しかし、1/4 がネストなど1つの変数を複数回使用
 - 階層的なリスト : 15%
 - 文章的談話 (textual narratives) : 6%
 - その他の形式 : 4%
- ※評定者間一致率は $q = .86$ ($p < .001$)
- ◇ シンプルな行列をFig.1 のように分類した
 - 「時間」はほぼどちらかの軸に配置されていた ($X^2(2) = 24.21, p < .001$)
 - しかし、x軸とy軸の間の偏りは有意ではなかった ($X^2(1) = 1.03, p > .10$)
 - 「人物」と「場所」はセルにおいても、x軸においても割合はほぼ等しかった
 - 人物 : $X^2(1) = 0.11, p > .10$
 - 場所 : $X^2(1) = 0.21, p > .10$

➤ Discussion

- ◇ 異なる時間帯の様々な場所にいる人物の追跡のためにもっとも多くの人を作成した視覚的表現は行列や表であった
- ◇ 行列は今回の課題に適した表現である
 - データがカテゴリカルである
 - 行列ではある変数の全ての水準ともう一方の変数の全ての水準の組み合わせが可能である (Hurley and Novick 2006; Novick 2006)
 - リストや樹形図は、特定の情報しか表現できない
 - ◇ 人物が「いる」情報だけ
 - 行列は空のセルができることで負の情報 (人物が「いない」) を示す
 - ◇ 空のセルにもいらない注意が向いてしまう
 - リストや樹形図は無意識に変数間に序列を作ることができる
 - 談話は、空間的な表現に対して有利な点はなかった

- ◇ 「時間」はセルに置かれるよりもいずれかの軸に配置されるほうが圧倒的に多かった
 - 「時間」は今回唯一の順序性を持つ変数であり、時間的な順番が、線形の空間的配置を示唆したと考えられる(Clark 1973; Tversky et al. 1991)
 - 「人物」と「場所」はカテゴリカルであったので、概念的には軸よりもセルに適していた
- ◇ 線グラフや地図のようなものを書いた参加者はいなかった
 - 地理的關係は知っていたにもかかわらず
 - 地図の形式だと「人物」と「時間」を同時に表わすのは困難

■ Study 2: queries: performance and preference

- 人物の時空間的な移動の視覚的表現は、広範な質問に答えることを可能にする
 - ◇ ある人物があるときどこにいるのか
 - ◇ ある時間のある場所の人数
 - ◇ ある人物の時系列的な移動
- study 2ではさまざまな質問に対する検索時間を成績 (performance) として検討する
 - ◇ 生成実験 (study 1) では、いずれかの軸を「時間」とする行列が圧倒的に好まれた
 - ◇ その中の例えば「人物」を点で表す場合と線で表す場合ではどのような違いがあるか
 - 検索時間／好み (preference)
 - 離散的な表現 (点表現) は離散的な判断 (人数, 大小比較) を促進するだろう
 - 線表現はセクション間の流れを強調するだろう
 - 線表現は傾向や流れに注目させるのに適している(Zacks and Tversky 1999)
 - ◇ 生成実験では「時間」をどちらの軸に配置するかは半々であった
 - 好みを反映していると考えられる
 - study 2では「時間」を水平に配置したほうがいいのか, 垂直に配置したほうがいいのか, 好みと成績から検討する
 - 先行研究では「時間」は水平配置が好まれる(Tversky et al. 1991).
- Performance methods
 - ◇ Participants 大学生128名
 - ◇ Stimuli
 - 行列: study 1 で生成されたもの

- Fig.2 参照
- カテゴリカルな変数：「人物」「場所」
- 順序性のある変数：「時間」
 - ※interval や scale ではない
- 行列の下に質問 (query) が表記してあり，行列に基づいて，その真偽をできるだけ早く答えなくてはならない
- 行列の3つの性質を操作：軸，要素，スケジュール
 - Fig.3 参照
 - 軸（被験者間）：「時間」が水平軸／「時間」が垂直軸
 - 要素（被験者内）：点表現／線表現（いずれも人物が色別に表現される）
 - スケジュール（被験者内）：スケジュール1／スケジュール2
 - ◇ 要素とスケジュールの組み合わせはカウンターバランスした
- 機材
 - E-Prime 1.0 (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA)
 - 19-inch, Dell Ultrasharp flat panel monitor

◇ Design

- 1ブロック目
 - 練習 4試行＋実験 52試行
 - 1つの行列について真偽判断をする
- 2ブロック目
 - 練習 4試行＋実験 52試行
 - 1ブロック目とは異なる要素，異なるスケジュールの行列について真偽判断をする（軸の配置は同じ）
- 練習のときは練習用のスケジュールを使用
- 回答はキー押し
- 反応時間と正確性をE-Primeで記録

◇ Queries

- Table 1 参照
- 1ブロックにつき52個の質問の命題のセットが用意された
- 異なる焦点を持つ8種類のタイプの命題
 - Person; Place; Time; Place and Time; People, Place, and Time; Sequence; Intersection; Miscellaneous
- 半分の命題は偽
- Table 1のそれぞれのPredictionsは反応時間の結果の予測を示している
 - 予測は以下の仮説から導いている
 - ◇ 「時間」は水平に配置したほうが効率的に処理される
 - ◇ 点表現は「人物」と「場所」の判断を促進し，線表現は時系列的な

比較を促進する

- Performance results
 - ◇ Overall response time
 - 全反応時間の平均 : 6.6 s ($SD=1.2$ s)
 - 軸×要素のANOVA (Fig.4)
 - 交互作用なし
 - 軸の主効果なし
 - 要素の主効果あり ($F(1,126) = 52.29, p = .001$)
 - 全体的に点表現のほうが反応時間が速かった
 - ◇ Response time by query type
 - 8つの質問カテゴリそれぞれにおいて、軸×要素のANOVA
 - Sequence (Fig.5) 以外
 - 線表現よりも点表現のほうが反応時間が速い
 - ◇ Person : $F(1,126) = 26.04, p < .001$
 - ◇ Place : $F(1,126) = 66.66, p < .001$
 - ◇ Time : $F(1,126) = 28.41, p < .001$
 - ◇ Place and Time : $F(1,126) = 12.46, p < .01$
 - ◇ Intersection : $F(1,126) = 28.04, p < .001$
 - ◇ People, Place, and Time : $F(1,126) = 4.15, p < .05$
 - 「Time」と「People, Place, and Time」の質問において交互作用があった
 - 「Time」質問: 「時間」が水平配置では要素の単純主効果が有意傾向 ($t(63) = 1.72, p < .10$)
 - 「People, Place, and Time」質問: 「時間」が水平配置では要素の単純主効果なし ($t(17) = 0.2, p < .10$)
 - 「Person」と「Time」の質問において軸の配置の主効果が有意傾向
水平 < 垂直 (Person : $F(1,126) = 3.39, p < .10$; Time : $F(1,126) = 4.45, p < .10$)
 - 「Place」質問では逆
垂直 < 水平 ($F(1,126) = 3.54, p < .10$)
 - ◇ Overall accuracy
 - 平均正答率 : 0.94 ($SD=0.03$)
 - 要素×軸のANOVA
 - 交互作用なし
 - 軸の主効果なし
 - 要素の主効果あり ($F(1,126) = 4.73, p < .05$)

- 全体的に点表現のほうが正答率が高かった
- ◇ Accuracy by query category
 - 8つの質問カテゴリそれぞれにおいて、軸×要素のANOVA
 - 「Place and Time」でのみ要素の主効果有意傾向
 - 点表現<線表現($F(1,126) = 3.38, p < .10$)
 - 速度と正確性のtrade-off
- Performance discussion
 - ◇ 人物、場所、時間、やそれらの組み合わせの質問に対する情報検索においては、全体として、行列上に点で表現したほうが線で表現するよりも速く正確だった
 - 時系列に関する質問のときは点表現の効果が消えた
 - ◇ 時系列に関する正答率において、線表現の効果が見られなかった点については、正答率の天井効果が考えられる
 - 回答時間に制限を持たせれば、正答率でも望む結果が得られた可能性がある
- Preference methods
 - ◇ Participants performance task に参加した128名
 - ◇ Stimuli and design
 - 実験参加者は、Fig. 6 に示したような質問と行列表現がセットになった冊子を行った
 - 行列表現の軸の配置はperformance taskで呈示されたものとそろえられた
 - 初めのページの教示

本日は、4人物のスケジュールについて2つの異なる視覚的表現を使用してもらいました。それぞれ、A、Bと表示しています。私たちは、あなたはがどちらのほうがよいと考えるのかについて興味があります。

下に先ほどあなたが見たいいくつかの命題が示してあります。それぞれの命題について、真偽判断をするのにどちらが有効だと思うか示してください。そして、どうしてそう感じたか自由に説明してください。

Today you used two different visual representations of the schedules of four people. These are labeled A and B below. We are interested in your thoughts on the relative advantages and disadvantages of each.

Below are some sample statements like the ones you saw in the experiment. For each statement, please indicate whether you found one representation to be more useful than another in deciding whether this statement was true or false. Also, please feel free to explain why.

- 11問：Misc を除く7つのカテゴリについて1つか2つの命題が選択された
- 選択肢：‘A,’ ‘B,’ or ‘No preference.’

➤ Preference results

- ◇ 軸に関しては，全体として選好に偏りはなかった ($X^2(2)=1.13, p > .05$)
- ◇ 要素に関しては，ほぼすべての質問において，点表現が好まれた ($Xs^2(2)>34.33, ps < .001, Fig.7$)
- ◇ 「Sequence」質問2つにおいては，線表現のほうが好まれた ($Xs^2(2)>122.14, ps < .001, Fig.8$)

➤ Preference discussion

- ◇ 参加者の好みは，成績や生成実験の結果と合致した
- ◇ 基本的には線表現よりも点表現が好まれたが，連続的な命題においては，線表現のほうが好まれた

■ Discussion and conclusions

- 視覚的表現は昔からあるにもかかわらず，よりよくデザインすることは難しい
 - ◇ 地図はコミュニティの実践の中で磨かれてきた
 - ◇ そして実験室の中でデザインの原則が明らかになってきた(Heiser et al. 2004)
 ⇒ user がデザインし，他のuserが成績（有効性）と選好をテストするという user-as-designer method
- このuser-as-designer methodを一般的な視覚的表現に適用して検討を行った
 - ◇ 生成実験は，表や行列表現への共通的な選好を明らかにした
 - 時間はいずれかの軸に配置されることが圧倒的に多かった
 - ◇ 成績・選好テストにおいては，点表現と線表現を使って，質問への反応時間を測定した後に，各種の質問に対する表現の選好を調べた
- 線表現は先行研究(Tversky and Lee 1998, 1999; Zacks and Tversky 1999)の結果から，時系列的な質問に対しては有効であると予測したが，線で結ぶことでセルの関係が見えづらくなってしまった
 - ◇ 先行研究では，時間は水平に配置されることが多かった
 - ← 一般的なグラフだったから．カレンダーやスケジュール帳などは垂直に時間帯が並んでいるものもある
- 成績では，1種類の質問を除いて，線表現よりも点表現のほうがよかった
 - ◇ 時系列的な質問に関しては線表現のほうがよかった
 - ◇ 生成の結果も選好の結果も，成績と合致した
- 親近性の高いものや，その人の専門的な分野に関しては適切に視覚的表現をデザインできる

Table 1 Number of statements, membership criteria, sentence order, example statement(s), and response time predictions for each query statement category

Category	<i>N</i>		
Person	12	Rule	Always and only name a specific person.
		Order	Always start with a person's name.
		Example	Sammy was with someone at all times.
		Predictions	Dots = Lines ; Time x-axis < Time y-axis
Place	16	Rule	Always and only name a specific place.
		Order	Half start with place, half with person or time.
		Example	The dorm was always occupied. All four people visited the bookstore.
		Predictions	Dots < Lines ; Time x-axis < Time y-axis
Time	16	Rule	Always and only name a specific time.
		Order	Half start with time, half with person or place.
		Example	In the morning, people were in four places. Three people were together at noon.
		Predictions	Dots < Lines ; Time x-axis < Time y-axis
Place and Time	16	Rule	Always and only name a specific time and place.
		Order	Half start with place, half with time.
		Example	The library had two people in the evening. In the morning, one person was at the gym.
		Predictions	Dots < Lines ; Time x-axis < Time y-axis
People, Place and Time	8	Rule	Always name a specific person, place, and time.
		Order	Half start with people, half with time.
		Example	David was in the dorm in the evening. At noon, Alex was in the dorm.
		Predictions	Dots < Lines ; Time x-axis < Time y-axis
Sequence (person and multiple places)	12	Rule	Always and only name a specific person and places.
		Order	Always start with a person's name.
		Example	Alex went to the dorm sometime after the library.
		Predictions	Lines < Dots ; Time x-axis < Time y-axis
Intersection (multiple people)	12	Rule	Always and only name at least two specific people.
		Order	Always start with a person's name.
		Example	Alex and Sammy met more than once.
		Predictions	Lines < Dots ; Time x-axis < Time y-axis
Misc.	12	Rule	
		Examples	Sammy and David both avoided the library. Alex visited all the places Justin visited.