

## **External and internal representations in the acquisition and use of knowledge: visualization effects on mental model construction**

Wolfgang Schnotz and Christian Kurschner

Instructional Science (36), pp.175–190, 2008

Keywords Picture comprehension, External representations, Mental representations, Visualization

### ◆ はじめに

- 外的表象はさまざまな形をとる—テキスト, 図, グラフ, 表, 音 (van Someren et al. 1998)
- 学生は, どのように複数の外的表象を扱っているのかということが, マルチメディア学習の中心的なトピックになってきた
  - ◇ マルチメディア学習の初期のころは, さまざまな表象について独立して研究されてきた
    - テキスト(Graesser et al. 1997; Kintsch, 1998; van Dijk and Kintsch, 1983)
    - グラフィックス(Schnotz and Kulhavy 1994; Massironi 2002)
    - その他の表象(Kirsch and Jungblut 1986; Mosenthal and Kirsch 1991)
  - ◇ しかし, 人の心は複数の表象で構成されている (Graesser et al., 1997; Johnson-Laird, 1983; Kintsch, 1998; Schnotz, 2005; van Dijk and Kintsch, 1983)
- 近年では複数の表象の相互作用についての疑問がわいてきた (Schnotz and Lowe 2003)
  - ◇ もっとも広く研究されているのはテキストと図の相互作用である
    - テキストと結びついた図の記憶に関する研究(Levie and Lentz, 1982; Levin, et al. 1987)
    - テキストと結びついた図の説明機能に関する研究(Mayer 1997, 2001; Mayer and Moreno 2002; Gyselinck and Tardieu, 1999)
  - ◇ また, 問題解決時の内的表象と外的表象の相互作用についての疑問もわいてきた
- 本研究では
  - ◇ 複数の外的表象からの学習における図の解釈の役割について分析する
  - ◇ また, 問題解決時における外的表象と内的表象の相互作用についても検討する

### ◆ Models of multimedia learning

- Cognitive theory of multimedia learning (Mayer ,2001, 2005)
  - ◇ Paivio (1986) のdual code theory

- 人の認知システムには聴覚刺激サブシステムと視覚刺激のサブシステムがあり，それぞれ言語と図的表象の処理に対応
  - 聴覚刺激と視覚刺激それぞれにワーキング・メモリ容量の限界がある (Baddeley, 1986; Chandler and Sweller, 1992)
  - ◇ 活性化した認知処理は知識の構造と一貫する
- Integrated theory of text and picture comprehension (Schnotz and Bannert, 1999, 2003)
- ◇ 表象の基本に重点を置いた，テキストと図の理解の統合モデル
  - ◇ Fig. 1 に概要を示した
    - 左側：テキスト表象のモデル
      - 言語的な外的表象と内的表象についてのパート
      - 記号に基づく処理
      - テキスト⇒テキストの表層的な構造⇒命題的な表象⇒メンタルモデル構築 (Schnotz, 1994; van Dijk and Kintsch, 1983; Weaver et al., 1995)
    - 右側：図的表象のモデル
      - 視覚的な外的表象と内的表象についてのパート
      - 表象間の構造的な mapping (Gentner, 1983) に基づく処理
      - 図⇒視覚的な表象⇒メンタルモデル構築 ← 課題に関連したスキーマによる top-down 処理
      - 自動的な処理によって組織化される(Ullmann, 1984)
        - ◇ ゲシュタルトの法則(Wertheimer, 1938; Winn, 1994)
  - ◇ メンタルモデルは，スキーマによってtop-down的に，グラフィックの要素を心的な要素に mapping することで構築される
    - 位置的な関係性は，意味的な関係性に mapping される (Falkenhainer et al. 1989/90; Schnotz 1993)
- Alternative forms of external representations
- ◇ 対象を図式化する方法はいくつかある
    - その状況に最適かどうか
      - たとえば，時差についての図としてFig. 2 の2つが考えられる
        - ◇ 左の図は長方形にタイムゾーンが示されている：carpet picture
        - ◇ 右の図は地球が北極から見た球で示されている：circle pictures
      - どちらの図からも，以下の2つの問いに答えることができる
        - ◇ 記載された都市の間の時差についての問題（時差問題）
          - “What time and which day of the week is it in Los Angeles when it

is 2 PM on Tuesday in Tokyo?’’

- Carpet diagram が適している

◇ 世界一周についての時間の問題（世界一周問題）

“Why did Magellan’s sailors believe they arrived on a Wednesday after sailing around the world, although in reality it was already Thursday?’’

- Circle diagram が適している

⇒ 情報的には等価である(Larkin and Simon 1987)が、各問いに対する使いやすさは異なる（計算的に等価ではない）

- 時差についての学習のための外的表象は、表形式でも考えられる（たとえばTable 1）
  - Fig. 2 の2つの図のどちらからでも抽出できる
  - 2つの問いに対して、適・不適の選好はないので、Table 1 を用いることによって、2つの図の効果を中和することができると考えられる

#### ➤ Research questions and hypotheses

◇ 情報的に等価だが、計算的には等価ではない表象⇒

- 異なるメンタルモデルを導く
- そのメンタルモデルに基づいて問題解決をするとき、パフォーマンスのパターンが異なる

(1) 視覚的な形はメンタルモデルの構造とそれに基づく問題解決のパフォーマンスに影響を及ぼすのか

- Mayer (2001) の認知理論によるマルチメディア・エフェクトでは、マルチメディア学習に図の違いは関係しない
- Schnotz (2005; Schnotz and Bannert 2003) の structure mapping view では、外的表象の違いは、構築されるメンタルモデルの違いに表れる
  - 時差問題において、carpet diagramsでの学習 > circle diagramsでの学習
  - 世界一周問題において、carpet diagramsでの学習 < circle diagramsでの学習

(2) 視覚的なフォームがメンタルモデルにの構造に与える影響と学習者のパフォーマンスのパターンは、問題解決時における他の外的表象の利用によって緩和されるのか

- 問題解決時に外的表象があるほうがないよりもパフォーマンスがよい
- 外的表象を利用することによって、学習した内的なメンタルモデルに頼る割合が減るので、学習時の視覚的フォームの違いがパフォーマンスに与える影響は小さくなる

◆ Method

➤ Learners and learning material

◇ 大学生80名：4条件20名ずつ

- 要因1：学習内容を視覚化した図の種類
- 要因2：学習後，問題解決時の外的資源の利用可否

◇ 学習素材

- 全学習者
  - 地球上の時差についてのテキスト (2,750 words)
  - 学習内容を図示したもの (Fig. 2のうちいずれか)
- 半数の学習者
  - 問題解決時に，外的資源として，グリニッジ標準時との時差を示した表 (Table 1)

➤ Procedure

◇ 3つのPhaseで構成 (最大2時間)

(1) 学習の必要条件についてのテスト (プレテスト)

- 知能テスト
  - ◇ Intelligenzstrukturtest IST 70 (Amthauer 1973)
  - ◇ the WILDE Intelligenztest (Jaeger and Althoff 1983)
- 学習内容についての自由記述のテスト

(2) 学習

- 学習素材 (テキストと図) と代表的な質問10個を与えられて学習

(3) 問題解決テスト

- 理解度を測定するためのテスト
  - ◇ 時差に関する問題 16題
  - ◇ 世界一周に関する問題 16題
- 学習者の半分はTable 1の表を自由に見ることができる
- 残りの半分は自分自身の内的なメンタルモデルのみに基づいて問題を解決

➤ Scoring

- ◇ 知能テストの結果 ⇒ 知能スコア (intelligence score)
- ◇ 学習内容についてのプレテスト ⇒ 先行知識スコア (prior knowledge score)
- ◇ 時差問題の正答率 ⇒ 時差スコア (time difference score)
- ◇ 世界一周問題の正答率 ⇒ 世界一周スコア (circumnavigation score)

◆ Results

- ・ 4条件間のプレテストの差異はほとんどなかった
- ・ 時差問題と世界一周問題の結果は Table 2 に示した

➤ Visualization and kind of tasks

- ◇ 視覚的な種類の違いが学習結果に与える影響について検討するために、MANOVA を行った (結果は Table 3)
  - 視覚的なフォーマットの要因 (被験者間) : carpet diagram / circle diagram
  - 外的表象 (被験者間) : あり / なし
  - 課題の種類 (被験者内) : 時差問題 / 世界一周問題
- ◇ 視覚的フォーマットの主効果なし ( $F(1, 76) = 0.01, MSE = 504.37, p = .93$ )
- ◇ 課題の種類の主効果なし ( $F(1, 76) = 1.56, MSE = 203.38, p = .22$ )
- ◇ 2 要因の交互作用有意 ( $F(1, 76) = 18.46, MSE = 203.38, p < .001, Fig. 3$ )
  - 時差問題において : carpet picture > circle picture ( $t(78) = 2.11, p < .05$ )
  - 世界一周問題において : carpet picture < circle picture ( $t(78) = 2.23, p < .05$ )
- ⇒ 視覚的に異なる形は異なる構造のメンタルモデルを導く
  - 情報的に等価であっても
  - メンタルモデルの違いはパフォーマンスのパターンの違いとして現れた

➤ Availability of external representations

- ◇ 外的表象の主効果あり:外的表象あり>なし ( $F(1, 76) = 4.10, MSE = 504.37, p < .05$ )
- ◇ 外的表象の有無と課題の種類間に交互作用あり ( $F(1, 76) = 30.73, MSE = 203.38, p < .001$ )
  - 時差問題において外的表象の有無の効果が大きかった
- ⇒ 仮説通り, 問題解決時の外的表象の効果が確認された

➤ Visualization and external representation

- ◇ 外的表象の利用によって, 学習時のメンタルモデルの構築に及ぼす視覚的フォーマットの効果を減らすことができるかどうか
- ◇ 外的表象なし条件において, 視覚的フォーマット要因×課題の種類の MANOVA (Fig. 4 上図)
  - 2要因の交互作用あり ( $F(1, 38) = 20.59, MSE = 167.30, p < .001$ )
- ◇ 外的表象あり条件において, 視覚的フォーマット要因×課題の種類の MANOVA (Fig. 4 下図)
  - 2要因の交互作用なし ( $F(1, 38) = 3.26, MSE = 239.46, p = .08$ )

⇒ 外的表象が利用できると、交互作用が小さくなる

- しかし3要因のMANOVAでは2次の交互作用は有意ではなかった( $F(1, 76) = 2.32, MSE = 203.38, p = .13$ )

⇒ 外的表象が利用できると、学習時の視覚的フォーマットの効果は弱まり、課題の違いによるパフォーマンスもバランスがとれるようになる

#### ◆ Discussion

- 本研究では多様な外的表象を用いた学習の一般的なフレームワークの中で2つの点に焦点を当てて検討した
  - ◇ 異なる視覚的なフォームはメンタルモデルの構造と、ひいてはそのメンタルモデルに基づく問題解決のパフォーマンスのパターンに影響を及ぼす
  - ◇ 問題解決時に他の外的表象が利用できると、学習時の視覚的なフォームの効果は弱まる
- 課題によって、学習時の視覚的フォームの適・不適があるという先行研究の結果と一致 (Ainsworth and Th Loizou, 2003; Gilmore and Green, 1984)
  - ◇ メンタルモデルは学習時に使用した外的資源の計算的な利点と不利点を引き継ぐ(Gilmore and Green, 1984)
- インストラクションの種類と課題の種類の交互作用についての先行研究(Bibby and Payne, 1993)
  - ◇ インストラクションと課題のマッチングによって課題遂行時間に交互作用が確認された
  - ◇ しかし、課題に慣れていくと、その交互作用は消える
  - ◇ 問題解決時に他の外的表象を利用すると学習時の視覚的フォームの効果が弱まるという本研究の結果は先行研究と一致
- 本研究の結果は、近年のマルチメディア学習の研究を超えた理論的な見地の採用を示唆する
  - ◇ 先行研究では、テキストだけを使用した学習と、テキストと図を使用した学習についての検討
    - Mayer (2001) のマルチメディア学習の認知理論
      - Pavio(1986) のdual coding の概念とメンタルモデルについての概念 (Gentner and Stevens 1983; Johnson-Laird 1996) を結びつけた
      - しかし、これでは視覚的フォームの違いを論じることはできない
  - ◇ 本研究では、Schnotz and Bannert (2003; cf. Schnotz 2005) によって提唱された統合モデルを採用

- 図の理解は、外的な図と学習者のメンタルモデルの **analogical structure mapping** のプロセス
  - 図における要素と要素間の関連の顕著さが、メンタルモデルに影響する
  - ◇ 図は課題に適した形で提示されるときのみ学習を促進する
- 問題解決時における内的表象と外的表象の相互作用については、あまりはっきりしていない
- ◇ 外的表象が利用できると、課題に適したメンタルモデルをそのときに生成することができるので、もともと学習したメンタルモデル（内的表象）にはあまり頼らなくなる
  - ◇ 外的表象が、ある表象から他の表象へと翻訳するのを助けた可能性が考えられる (carpet model  $\Leftrightarrow$  circle model)
    - 適切な外的表象は異なる表象間の翻訳を成功させる (Ainsworth et al., 2002)
- 実用的な見地から
- ◇ 学習者に与える図のフォームはよく考えられなければならない

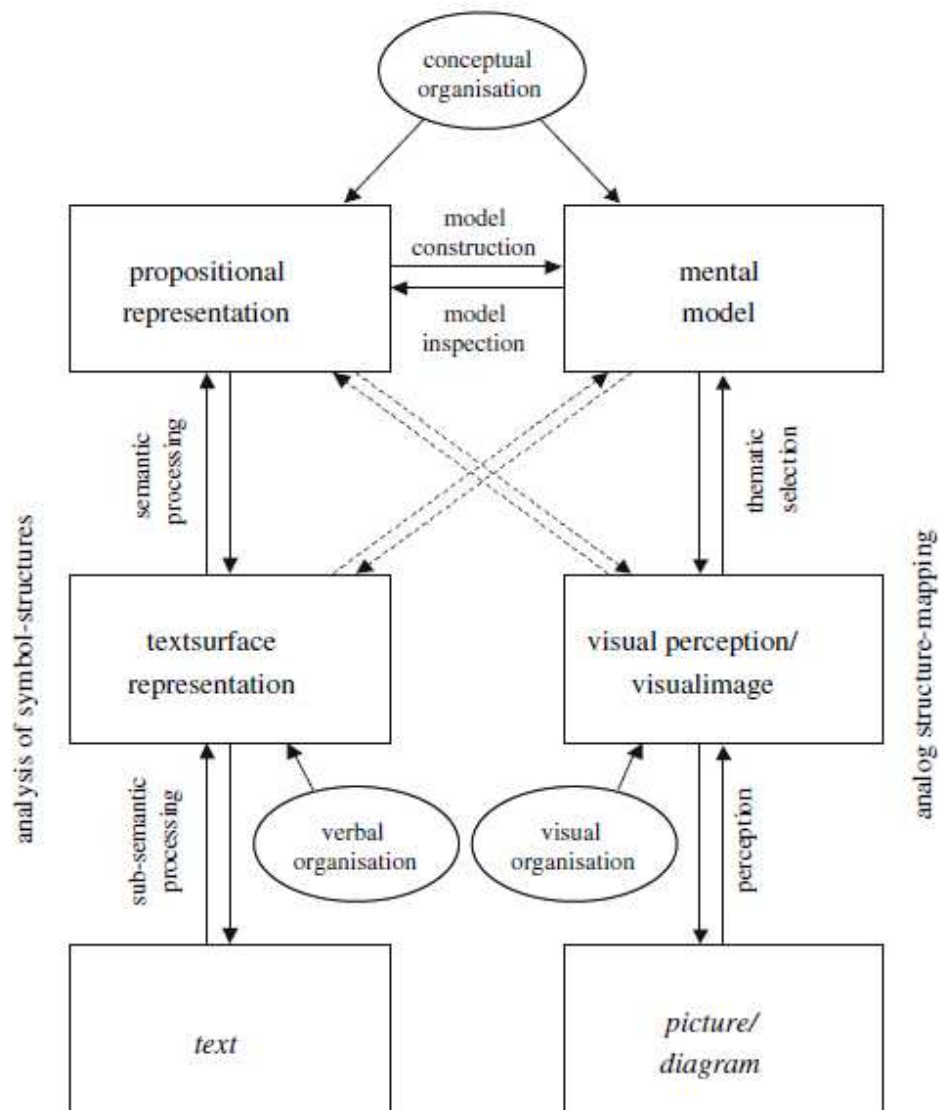


Fig. 1. Model of text and picture comprehension (Schnotz and Bannert 2003)

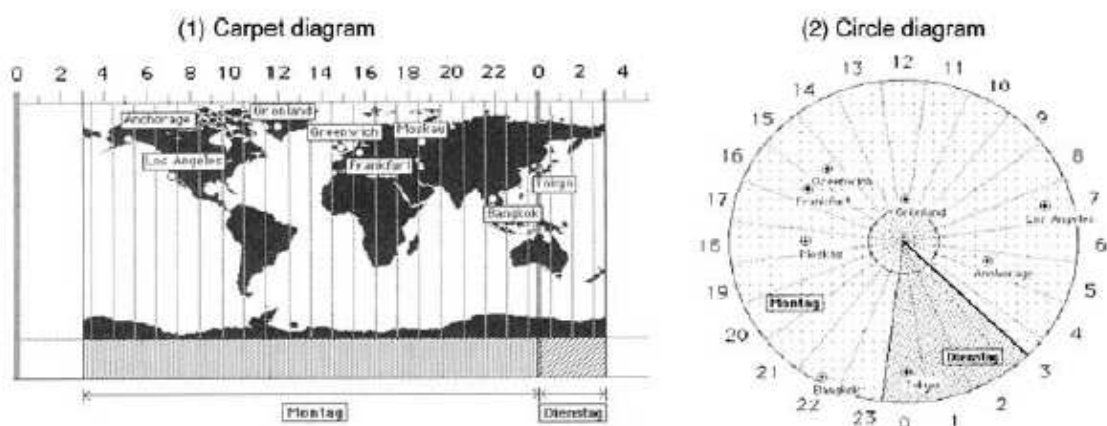


Fig. 2. Example of two information equivalent pictures



Table 1. External representation/working aid table

Time differences of different cities compared with Greenwich	
Anchorage	-10
Bangkok	+7
Frankfurt	+1
Greenland	-3
Los Angeles	-8
Mexico City	-6
Moskau	+3
Tokyo	+9

Table 2. Means and standard deviations of the learning results

External representation	Visualization format			
	Mean		Standard deviation	
	Carpet diagram	Circle diagram	Carpet diagram	Circle diagram
<i>Learning results: Time different tasks</i>				
Without external representation	56.56	45.00	17.85	13.54
With external representation	74.69	66.25	18.30	24.62
<i>Learning results: Circumnavigation tasks</i>				
Without external representation	53.13	67.81	16.03	20.20
With external representation	53.13	57.19	16.29	21.39

Table 3. 2 × 2 × 2 MANOVA with the factors visualization format, external representation and kind of task

Source	df	F	$\eta^2$
<i>Between subjects</i>			
Visualization format	1	0.01	.00
External representation	1	4.10*	.05
Visualization format × external representation	1	.28	.00
Error	76	(504.37)	
<i>Within subjects</i>			
Kind of task	1	1.56	.02
External representation × kind of task	1	30.73***	.29
Visualization format × kind of task	1	18.46***	.20
Visualization format × external representation × kind of task	1	2.32	.03
Error	76	(203.38)	

Note: Values enclosed in parentheses represent mean square errors

\*  $P < .05$ ; \*\*  $P < .01$ ; \*\*\*  $P < .001$

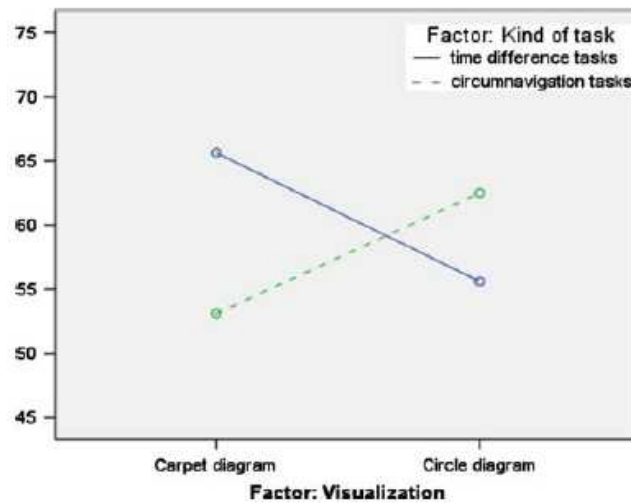


Fig. 3. Interaction between visualization format and kind of tasks

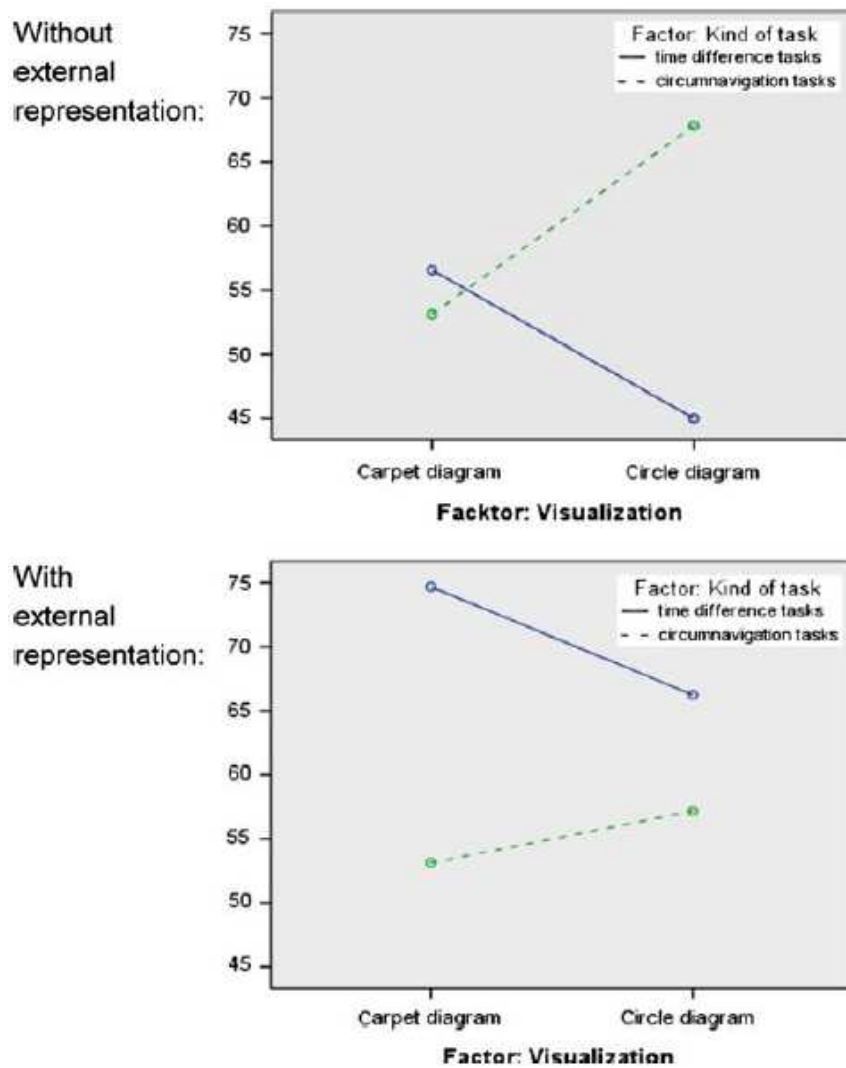


Fig. 4. Interaction between visualization format and kind of tasks depending without or with external representation