

Processes of Similarity Judgment

Levi B. Larkey, Arthur B. Markman

Cognitive Science, 2005, 29(6), 1061-1079

1. Introduction

- ▶ 類似性は認知においてさまざまな役割を果たしている
- ▶ 2つの影響力のあるアプローチ
 - Spatial approach (Shepard, 1962)
 - ・ 多次元からなる空間における距離が遠いほど類似性が減る
 - Feature-set approach (Tversky, 1977)
 - ・ 共有する特徴が多いほど類似性が高く、少ないほど低い
 - 心的表象の構造の把握が困難
 - ・ e.g., 「青い三角の上に赤い四角がある」
「上に」という関係を表せない
- ▶ 現存のモデルの違いを示す

2. Representational Distortion

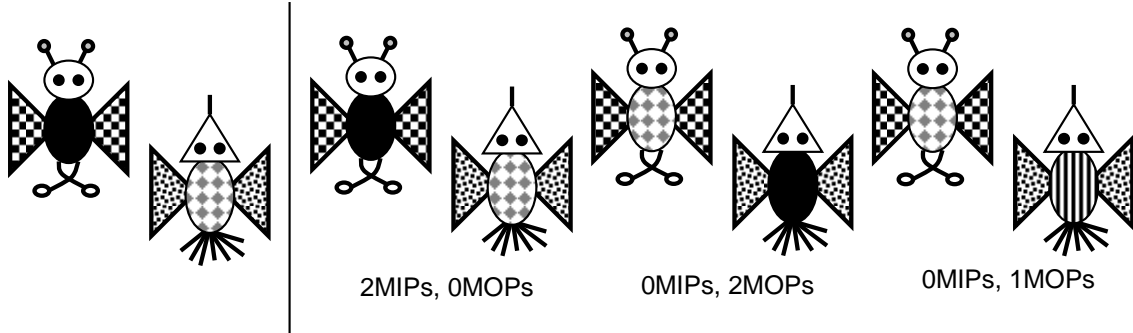
☆ RD (Hahn, Chater, & Richardson, 2003)

- ▶ あるアイテムを別のアイテムに変形するために必要な **transformation** の数
 - 多い → 類似性が低い
- ▶ 例)
 - XXXOOXO → OXOOXXX:
 - ・ transformation は反転の一回 = 類似性が高い
 - XXXOOXO → OXOOXX:
 - ・ transformation は反転+右端を消すの2回 = 類似性が低い

3. Structure-mapping models

- ▶ 共通性と差異により類似性が決まる
- ▶ 2タイプの差異 (Markman & Gentner, 1993)
 - 整列可能な差異: 比較するアイテムで対応する要素における差異
 - ・ e.g., 車と自転車 → タイヤ
両方にタイヤはあるが、車は4つで自転車は2つと異なる
 - 整列不可能な差異: 対応しない要素における差異
 - ・ e.g., 車と自転車 → シートベルト
自転車にはシートベルトに対応するものがない
- ▶ 2タイプの共通性 (Goldstone, 1994)

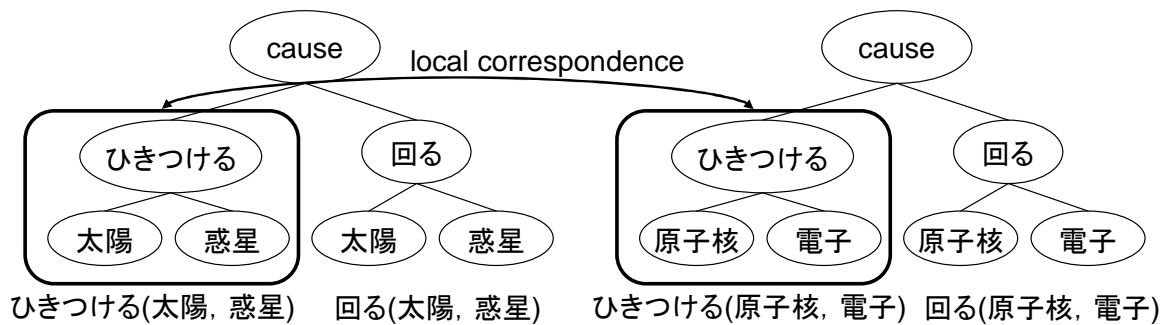
- MIPs(match in place): 対応する要素における一致
- MOPs(match out of place): 対応しない要素における一致
- e.g., Goldstone, 1994



3.1. The Structure-Mapping Engine

☆ SME (Gentner, 1983, Falkenhainer, Forbus, & Gentner, 1989)

- ▶ input 2 つの命題表象
 - entity
 - ・ もの, 定数 (e.g., 車, 太郎)
 - predicate
 - ・ 属性 red(x), square(x)
 - ・ 関係 above(x, y), know(x, y)
 - function
 - ・ 1 つ以上の entity を他の entity に対応付ける
 $height(x) = y, temperature(x) = y$



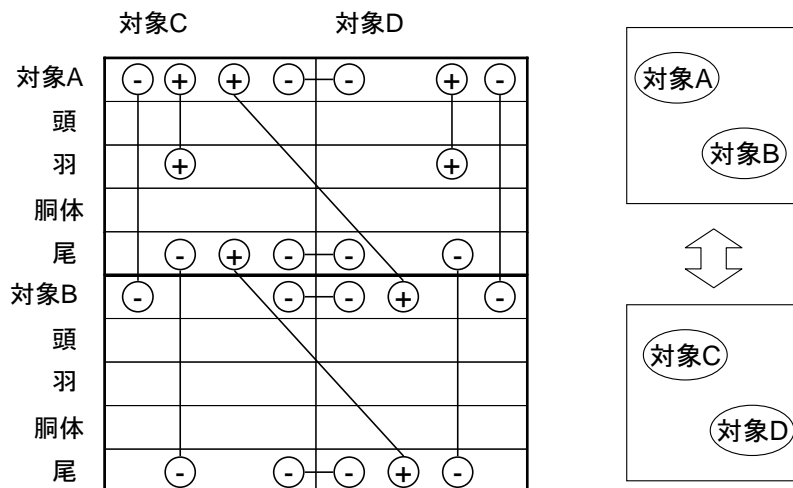
- ▶ local correspondence
 - 同一の predicate とそれらの引数の間に作られる
- ▶ local な一致を融合してグローバルな一致を生成する
- ▶ 類似性のスコアを計算する
 - 相互関係や高いオーダーの関係構造を保持するマッピングのスコアが高い
- ▶ 2 つの制約に基づく

- parallel connectively
 - ・ 対応する述語の引数を対応させる
 - one-to-one mapping
 - ・ 1つの表象の要素は1つの表象の要素に対応させる
- ▶ ⇒ MOPs は類似性評価に影響しない

3.2. Similarity as Interactive Activation and Mapping

☆ SIAM (Goldstone, 1994)

- 対応する特徴, オブジェクト, 関係する役割間のインタラクティブな活性化による類似性の決定
- ▶ ノードのネットワークからなる
- ノード: 特徴間, オブジェクト間, 役割間の全ての可能な対応



「類似から見た心」より

- ▶ ノード間に興奮, 抑制性の活性を伝える結合が作られる
- 抑制性: 片方の表象の1つの要素がもう片方の2つの要素に対応する
 - 興奮性: 整合的に対応しているとき
- ▶ 類似性判断の過程
- マッチバリュー(知覚的に決められる類似性)により特徴, 役割を対応付ける (MIPs と MOPs の両方が影響する)
 - 活性化が拡散し, 特徴, 役割の対応付けと整合的にオブジェクトを対応付ける
 - オブジェクトの対応と整合的に活性化が逆流する
- ▶ MIPs と MOPs の両方が影響する
- MIPs > MOPs

3.3. Connectionist Analogy Builder

◇ CAB (Larkey & Love, 2003)

- ▶ CAB は類推推論のような SIAM より複雑な関係構造のマッピングができる
- ▶ input 直接的な図 (Fig. 1)

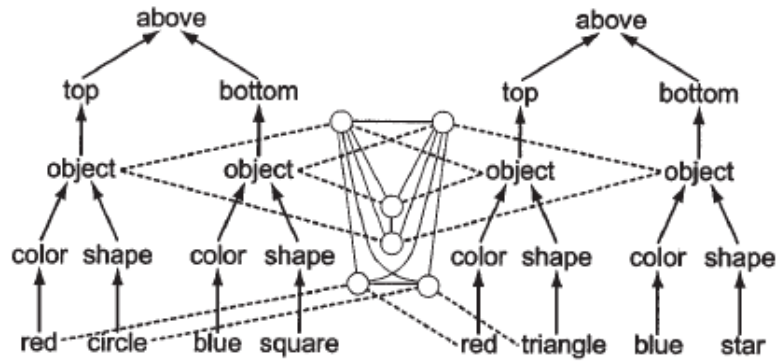


Fig 1. Comparison of a red circle above a blue square to a red triangle above a blue star. For clarity, only a few nodes are shown.

- ▶ 2つの図の意味的な共通性の全てを対応付ける (MIPs と MOPs 両方)
 - 共通するノードの全てが活性化される
 - ・ e.g., Fig. 1 の左の両方の”オブジェクト”交点は右側の両方の”オブジェクト”交点と対応させられる
 - 特徴と役割の一致は CAB のネットワークでは最初の活性化にしか影響しない
- ▶ ネットワークを通して活性化が拡散
 - 並列的な対応を表象する他のノードによってノードは活性化する
 - もし関連する交点の間の直接的なパスが同じなら 2つの対応は並列的
 - ・ e.g., Fig. 1 において, 左の図の red 交点と右の図の red 交点の間の対応は, 左の図の circle 交点と右の図の triangle 交点の間の対応に並列的
 - ・ 左の図の red と circle の間のパスのエッジの方向が右の図の red と triangle の間のパスのエッジの方向と同じ

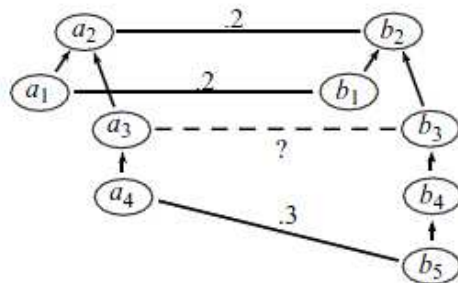


Fig. 2. Nodes a_1 through a_4 belong to analog A, and nodes b_1 through b_5 belong to analog B. There are mapping weights of sizes .2, .2, and .3 between nodes a_1 and b_1 , a_2 and b_2 , and a_4 and b_5 , respectively. The correspondences between a_1 and b_1 and a_2 and b_2 vote for increasing the mapping weight between a_3 and b_3 , but the correspondence between a_4 and b_5 does not.

(L. B. Larkey & B. C. Love, 2003)

- ▶ 競合が起こり，ノードは他のノードにより抑制される
 - 一番活性を得ているノード以外は抑制される
 - この **winner-takes-all** ルールは厳格な **one-to-one** 制約を活性化に課す
- ▶ **SME** の **all-or-nothing** ほど厳格ではないけれど，**CAB** の **one-to-one mapping** の厳守は **SIAM** よりも厳格

4. Experiment

- ▶ **transformation** が固定なら，類似性は変化しない ⇒ **RD**
- ▶ **MOPs** は類似性評定に影響しない ⇒ **SME**
- ▶ **MOPs** が類似性評定に影響する ⇒ **SIAM**, **CAB**
- ▶ 2つのオブジェクトからなる2つの図の類似度評定

4.1. Method

4.1.1 Participants

- ▶ 116名の学生
 - 色と形 58名
 - 色とテクスチャ 58名

4.2.2. Materials

- ▶ 162 ディスプレイ
- ▶ ディスプレイ: オブジェクトのペアが2つ含まれる
 - 色 (緑, 赤, 青, 黄色) × 形 (三角, 丸, 四角, 星型)
 - 色 (緑, 赤, 青, 黄色) × テクスチャ (ダーク, カーペット, パスタ, バブル)
- ▶ 各ペア内のオブジェクトは, 縦, または横に並んでいる(1cm 間隔)
- ▶ ペアはランダムに配置される
- ▶ ペア間の間隔は 11cm

4.1.3. Design

- ▶ ベースペア: ランダムに選ばれる
- ▶ ターゲットペア: ベースペアの特徴を選択的に変更
 - 半分は位置関係が変化 (上下はランダム)
 - 特徴の変え方 (Fig. 2)
 - $9(\text{色}) \times 9(\text{形 or テクスチャ}) \times 2(\text{位置関係}) = 162$ 試行

4.1.4. Procedure

- ▶ ベースペアとターゲットペアの類似性を 1(類似性低)~6(類似性高)で評定

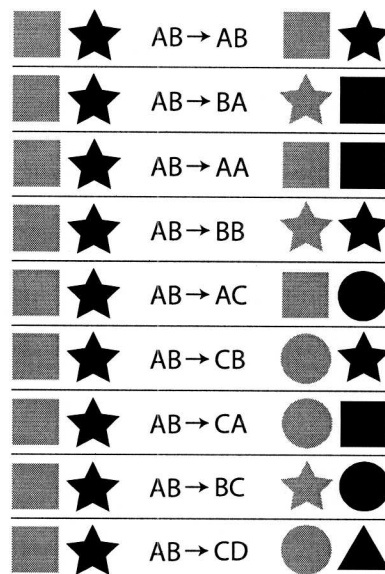


Fig. 2. Methods for altering feature dimensions. The target pairs (right column) were constructed by altering the shapes of the base pair (left column) according to each transformation (middle column).

- ▶ 162 試行をランダムな順で行う

4.1.5. Results

◇ プライマリーデータ

- ▶ 片方の次元の変化は AB→AB か AB→BA に限定 (参考 テクスチャと形の変化)
- ▶ もう片方の次元が変化すると評定はどのように変化するか
 - AB→AA = AB→BB, AB→AC = AB→CB, AB→CA = AB→BC とする

◇ 色と形が変化するとき (Fig. 3)

- ▶ 片方の次元が AB→AB のとき
 - AB→AA と AB→AC, AB→CA と AB→CD の組み合わせを除く全てのペアに有意差有り ($p < .001$, HSD test)
- ▶ 片方の次元が AB→BA のとき
 - AB→AA と AB→CA, AB→AC と AB→CD の組み合わせを除く全てのペアに有意差有り ($p < .001$, HSD test)

◇ 色とテクスチャが変化するとき (Fig. 4)

- ▶ 片方の次元が AB→AB のとき
 - AB→BA と AB→AA と AB→AC, AB→CA と AB→CD の組み合わせを除く全てのペアに有意差有り ($p < .001$, HSD test)
- ▶ 片方の次元が AB→BA のとき
 - AB→AB と AB→AA, AB→AA と AB→CA, AB→AC と AB→CD の組み合わせを除く全てのペアに有意差有り ($p < .001$, HSD test)

4.2. Comparison to model predictions

☆ 次元の変化のさせ方による順序関係 (Fig. 5 AB→AB, Fig.6 AB→BA)

4.2.1. Transformational accounts

- ▶ RD ではデータを説明できない
 - 与えられた **transformation** が決まった影響を持っていない
 - 与えられた **transformation** がネガティブに影響をするときとポジティブに影響するときがある

4.2.2. Structure-mapping approaches

☆ SME

- ▶ SME は SIAM や CAB と異なりドメインマッピングと一致しない特徴の一致(MOPs)を無視する
 - =MIPs の増加により, 類似性は単調に増加する
 - AB→AB では AB→BA 以外の順番はフィットしている
- ▶ SME がデータから乖離する原因は参加者の MOPs への感度による

☆ SIAM & CAB

- ▶ SIAM と CAB は MOPs にも敏感
 - 一貫していない MIPs と MOPs は活性化を奪い合うため類似性を減らす
 - とくに SIAM より CAB において減少する
- ▶ CAB は AB→AB のときは順序関係がフィットする
 - AB→BA と AB→AA
 - ・ **winner-takes-all** ルールにより違いが生じる
- ▶ SIAM は両方のデータをパラメータがデフォルトで予測できる

5. Conclusions

- ▶ 結果は仮説と一致する
 - 表象的な成分間の対応は類似性判断を変化させる
- ▶ データは **transformational account** には一致しない
- ▶ **structure-mapping accounts** の中では SIAM のみが十分に参加者の類似性判断を捉えた
 - SME と反して MOPs は類似性評定に影響した
 - CAB と反して MIPs と MOPs が競合しても類似性は劇的に減少しない
- ▶ SIAM は概念的な強みと弱みの両方を類似性のモデルとして持っている
 - 強み: 類似性比較の動的なタイムコースをモデル化する能力
 - 弱み: SME や CAB と異なり, 複雑な関係構造を処理できない

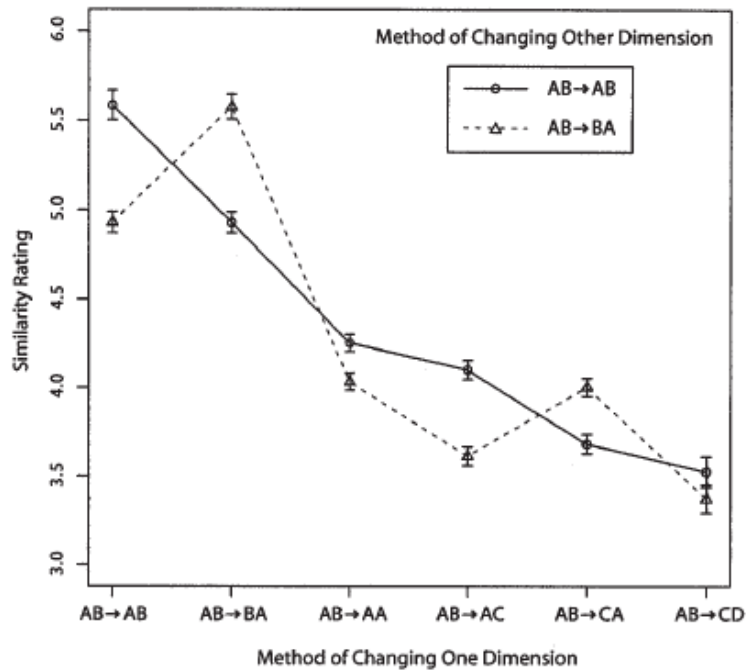


Fig. 3. Mean similarity ratings for each method of changing one dimension when the method of changing the other dimension is $AB \rightarrow AB$ or $AB \rightarrow BA$. Feature dimensions are color and shape. Error bars denote standard errors.

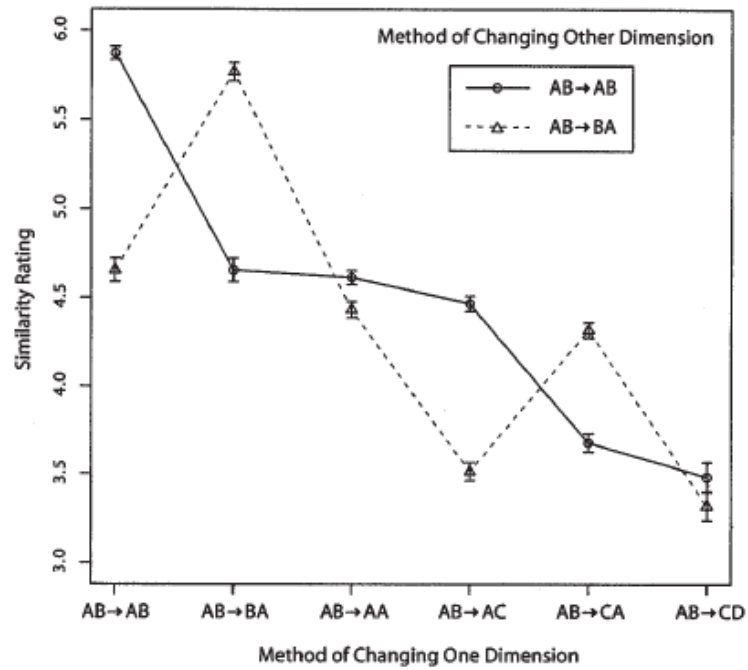


Fig. 4. Mean similarity ratings for each method of changing one dimension when the method of changing the other dimension is $AB \rightarrow AB$ or $AB \rightarrow BA$. Feature dimensions are color and texture. Error bars denote standard errors.

参考 テクスチャと形の変化

AB	→ AB	→ BA	形の変化の仕方
■ ○	■ ○	□ ●	AB
■ ○	● □	○ ■	BA
■ ○	■ □	□ ■	AA
■ ○	● ○	○ ●	BB
■ ○	■ ☆	□ ☆	AC
■ ○	☆ ○	☆ ●	CB
■ ○	☆ □	☆ ■	CA
■ ○	● ☆	○ ☆	BC
■ ○	☆ △	☆ ▲	CD

color & shape	color & texture	RD	SME	CAB	SIAM
AB→AB	AB→AB	AB→AB	AB→AB	AB→AB	AB→AB
AB→BA	AB→BA	AB→BA	AB→AA	AB→AA	AB→BA
AB→AA	AB→AA	AB→AA	AB→AC	AB→BA	AB→AA
AB→AC	AB→AC	AB→AC	AB→BA	AB→AC	AB→AC
AB→CA	AB→CA	AB→CA	AB→CA	AB→CA	AB→CA
AB→CD	AB→CD	AB→CD	AB→CD	AB→CD	AB→CD

Fig. 5. Ordinal relationships between methods of changing one dimension when the method of changing the other dimension is AB→AB.

color & shape	color & texture	RD	SME	CAB	SIAM
AB→BA	AB→BA	AB→AB	AB→BA	AB→BA	AB→BA
AB→AB	AB→AB	AB→BA	AB→AA	AB→AA	AB→AB
AB→AA	AB→AA	AB→AA	AB→CA	AB→AB	AB→AA
AB→CA	AB→CA	AB→AC	AB→AB	AB→CA	AB→CA
AB→AC	AB→AC	AB→CA	AB→AC	AB→AC	AB→AC
AB→CD	AB→CD	AB→CD	AB→CD	AB→CD	AB→CD

Fig. 6. Ordinal relationships between methods of changing one dimension when the method of changing the other dimension is AB→BA. In the second column, the placement of AB→AA on the line separating AB→AB and AB→CA denotes that AB→AA is not significantly different than AB→AB or AB→CA, but AB→AB is significantly different than AB→CA.