

Eyetracking and selective attention in category learning

Bob Rehder, Aaron B. Hoffman

Cognitive Psychology, 2005, 51(1), 1-41

1. Introduction

☆ カテゴリー学習とは

- ▶ 刺激の一般化ではない
 - 一般化であれば共通する特徴が多いほど簡単
 - 実際は正しい分類に必要とされる特徴が多いほど難しい
- ▶ selective attention による説明
 - (e.g., Medin & Schaffer, 1978; Nosofsky, 1984; Shepard et al., 1961)
 - selective attention は学習で変化する
- ▶ selective attention それ自体の観察はされていない

☆ 目的

① eyetracking は学習者が注意を最適なわけ方で分配するということを支持するか

- fixation のシフト = 注意のシフト
- 最終的に関係する特徴へのみ注目するか
- eyetracking のカテゴリー学習における注意の指標としての有効性を示す

② 学習中の注意の変化はどのモデルと一致するか？

- ▶ ALCOVE (Kruschke, 1992)
 - 全ての特徴 → 関係のある特徴への注目
 - eyetracking では
 - ・ 各刺激に同程度の fixation → 無関係な刺激への fixation は減っていく
 - エラーとの兼ね合い
 - ・ fixation がシフトするにつれてエラーが減っていく
- ▶ RULEX (Nosofsky, Palmeri, & McKinley, 1994)
 - 最初から 1 つの特徴に注目
 - eyetracking では
 - ・ 初期から 1 つの特徴への fixation → うまくいかない場合、複数の特徴への fixation
 - エラーとの兼ね合い
 - ・ 正しい特徴に注目したときにエラーが減る

2. The Shepard et al. (1961) study (Shepard, Hovland & Jenkins, 1961)

- ▶ 2 値を持つ 3 つの特徴 (形, 色, 大きさ) = 8 種類

- ▶ 6種類の分け方 (Fig. 1)
 - Type I: 1つの特徴に注目した分類
 - Type II 2つの特徴に関する排他的な分類
 - Type IV: 1つの特徴と例外の分類
 - ・ 3つの特徴がかかっているが, 平等ではない
 - Type VI: 3つの特徴による分類
- ▶ 難易度
 - Type I < II < IV < VI
- ▶ 本研究では知覚的な複雑さを減らすため絵の代わりに記号を用いる (Fig. 2)

◇ 2つのリサーチクエスチョン

- ▶ 注意を分類に必要な特徴に限定するか
- ▶ 眼球運動の変化は **gradual (ALCOVE)**と **rule-based (RULEX)**のどちらを支持するか

3. Method

3.1. Participants

- ▶ 72名の学部生
 - 4つのカテゴリー構造にランダムに振り分け

3.2. Materials

- ▶ 6種類の刺激 (Fig. 2)
 - \$とφ, ?と!, xとo
- ▶ 特徴と位置はカウンターバランス

3.3. Procedure

- ▶ 流れ
 - キャリブレーション
 - 補正
 - 8つのうち1つの事例 (Fig. 2)
 - ・ “red”と“green”のどちらに分類されるかボタンを押す
 - ・ 音によるフィードバック
 - 4s後に補正から次の試行が始まる
- ▶ 8つの事例 = 1ブロック
- ▶ 4ブロックエラーがないと終了 (最大 28ブロック)

3.4. Eyetracking dependent variables

- ▶ 各記号を含む 3 つの AOI (areas of interest)
- ▶ number of dimensions fixated
 - 注目している特徴の数 (0~3)
- ▶ proportion fixation time
 - 各特徴へ注目している時間の割合 (0~1)
- ▶ relative priority
 - はじめに注目する特徴へ重み付け (0~1)

4. Result

◇ 難しさの順番: I < II < IV < VI

- ▶ 学習基準に達した人数
 - I (18) = II (18) < IV (16) < VI (10)
- ▶ 学習基準に達したブロックの平均 ($F(3, 68) = 24.8, p < .01$)
 - I (7.1) < II (14.1) < IV (18.1) < VI (22.9) (全て $p < .05$ で有意差有り)
- ▶ エラー数 ($F(3, 68) = 23.4, p < .01$)
 - I (8.2) < II (31.2) < IV (36.9) < VI (70.6) (タイプ II と IV 間を除き $p < .05$ で有意差有り)

◇ selective attention と眼球運動 (Fig. 3)

- ▶ 学習トレーニングの終わりまでに分類に必要な特徴にしか注目しなくなる
 - Type I: 1 つの特徴に注目
 - Type II: 2 つの特徴に注目
 - Type IV, VI: 3 つの特徴に注目

◇ 学習の過程

- ▶ ALCOVE を支持
 - 複数の特徴への注目から必要な特徴のみへの注目

◇ シグモイド関数への当てはめ

$$y = initial + \frac{diff}{(1 + \exp(-m(t - b)))}$$

- diff: 変化の程度
- m: 変化の急激さ
- t: 試行数
- b: 変曲点

- ▶ 例) $initial = 2.65, diff = -1.65, m = 5.89, b = 21.1$
 - 2.65 から始まり, 最終的に-1.65 変化 (2.65 から 1 へ)
 - 21 試行目で 2.65 から 1 へ急激に($m = 5.89$)変化

◇ 各参加者においてフィット

- ▶ 従属変数に変化がない場合は **intercept model**
 - パラメータ: 指標の全試行の平均値

◇ Table 1: パラメータのまとめ

4.1. Type I results

◇ エラーの減少は眼球運動の変化の 1, 2 試行前に起きる

- ▶ **b** の値 (Type I の全参加者の平均へのフィット)
 - エラー: 19.7
 - 眼球運動: 20.0~21.1

◇ 5つのクラスター

◇ Modal cluster (Fig. 6)

- ▶ 11 名
- ▶ 典型的なパフォーマンス
 - 注目特徴数のフィット
 - ・ 2.61 から始まり 1.16 に急激に($m = 1.43$)変化
 - その他の眼球運動指標も急激に変化
 - エラーのフィット
 - ・ 2 試行以内の急激な減少($m = 2.28$)
 - エラーの減少の約 4 試行後に眼球運動の拘束が起こる
 - ・ b : エラー < 注目特徴数 ($12.2 < 16.1; t(10) = 2.65, p < .05$)

◇ Fig. 7A (4 名)

- ▶ エラーの緩やかな減少
 - 約 14.6 試行かかる ($m = 0.30$)
 - より ALCOVE 的 (エラーがだんだん減る)
- ▶ 眼球運動の変化はエラーの減少後に起こる

◇ One-dimensional rule testers (Fig. 7B, C; 各 1 名)

- ▶ 1 試行で 1 つの特徴を調べる
 - B: 最初から関係する特徴に注目
 - C: 関係のない特徴から関係する特徴へ切り替え

◇ Memorizer (Fig. 7D; 1 名)

- ▶ ずっと 3 つの特徴に注目

- 8つの刺激の全てを覚える
 - ・ 学習に 10block かかった

◇ Type I まとめ

- ▶ all-or-none reduction のエラーを示した
- ▶ 3つの特徴に注目 → 関係のある特徴にのみ注目
- ▶ 5名のエラーは緩やかな減少
 - そのうち4名の眼球運動は大多数の参加者と同様

4.2. Type II results

◇ Type II: 2つの特徴に関する排他的な分類

◇ 4つのクラスター

◇ modal performance (Fig. 10; 9名)

- ▶ エラーは 19 試行で減少 (45~64 試行; $m = 0.23$)
 - 緩やかな学習
- ▶ 眼球運動
 - 注目特徴数は 63 試行目で突然減る
 - 残りの 2つは 56 試行から 8 試行程度でシフトする
 - ALCOVE と一致
 - ・ 緩やかに共起
- ▶ エラーより後に眼球運動が変化する

◇ all-or-none learner (Fig. 11A; 4名)

- ▶ 急激なエラーの減少
- ▶ エラーの減少から眼球運動のシフトにさらに 16 試行かかる

◇ Memorizer (Fig. 11B; 2名)

- ▶ 緩やかな学習
- ▶ 眼球運動のシフト無し
 - 全 8 刺激を覚えた
 - $m = 0.05$ (88 試行)

◇ two-dimensional rule tester (Fig. 11C; 2名)

- ▶ ずっと 2つの特徴を調べる
 - Type I の one-dimensional rule tester
- ▶ 意識的に仮説検証を行っていた

◇ 例外 周辺視野使用者

- ▶ 眼球運動と取得情報(注目特徴)があわない

◇ Type II まとめ

- ▶ ゆっくりと学習
- ▶ 17名中6名は all-or-none 学習
- ▶ 4名はシフト無し
- ▶ 眼球運動のシフトはエラーの減少とほぼ同調 (少し後)
 - 眼球運動のシフトとエラーの減少は強い相関がある ($r = .96$)

4.3. Type IV and VI results

◇ 3つの特徴への注目が必要

◇ Type IV: 1つの特徴と例外の分類

- ▶ 3つの特徴がかかわっているが, 平等ではない

◇ Type VI: 3つの特徴による分類

- ▶ 解決者のみを用いてフィットを行う

◇ modal group (Fig. 16A & 17A)

- ▶ IV(13/15名)
- ▶ IV(8/10名)
- ▶ エラー
 - ゆっくり減少
 - Type IVのほうが早く学習
 - Type VIのほうが急に学習
 - ・ Type IVの参加者は1つの特徴に注目したルールを見つけてから例外を記憶したのかもしれない

◇ Fig. 16B & 17B

- ▶ all-or-none learner が各タイプにいた
 - Type IV: 1つの特徴のルールを試して, ルールを見つけた
 - Type VI: はっきりしたルールのようなものがない
 - ・ 最初に8つの刺激を区別して, 2つのカテゴリーにラベル付けしたのかもしれない

◇ Type IV, VI まとめ

- ▶ 2.5~3つの特徴 → 3つの特徴全てに注目
 - 学習の初期から全刺激に注目 (IV 2.44, VI 2.71)
 - 最後まで全刺激に注目 (IV 2.85, VI 2.91)
- ▶ エラー
 - Type IVはゆっくり学習 ($m = 0.11$, 40 試行)

- ・ m の値: < Type I ($p < .0001$), Type II ($p < .05$)
- Type VIは Type I, IIよりはゆっくり学習 ($m = 0.23$, 19 試行)
 - ・ m の値: < Type I ($p < .0001$), Type II ($p > .20$)

4.4. Fixations early in learning

- ▶ 学習初期には全ての特徴に注目する
 - initial パラメータの平均: 2.54
 - 最初の 5 試行における 注目特徴数 (Fig. 19)
 - ・ ずっと 1 つの特徴に注目: 1 人
 - ・ 1.5 以下の特徴に注目: 6 回
 - ・ 85%は 2 つ以上に注目

5. Discussion

- ▶ カテゴリー学習は区別に必要な特徴に注意を払う学習
 - 初の直接的な証拠
- ▶ 眼球運動は ALCOVE を支持した
 - 複数の特徴 → 関係する特徴のみ
- ▶ エラーの激減はルールベースの学習を示した
 - all-or-none 学習

5.1. Evidence for associationist accounts of category learning

- ◇ associationist モデルの支持
 - ▶ ゆっくりとした学習があった
 - Type II, IV, VIにおける緩やかなエラーの減少
 - ただし, ルールベースの学習でもゆっくりとしたエラーの減少は考えられる
 1. retrieve の成功/失敗
 2. 特徴区別の失敗
 3. ノイズ(経験により減る)
 4. 単純ノイズとその他の要因の組み合わせ
 - ▶ 眼球運動データによる支持
 - Type IIにおける関係特徴への緩やかな注意のシフト

5.2. Evidence for rule-based accounts of category learning

- ◇ ルールベース学習への支持
 - ▶ all-or-none 学習
 - エラーの激減

- ・ Type I とほとんどと残りのタイプにも
- ◇ 不支持
 - ▶ 1つの特徴に関するルールからテストを始めたのは3名だけ
- ◇ RULEX 的なやり方をしても眼球運動に反映されない
 - ▶ 眼球運動を予測できるモデルではない
 1. 刺激空間の構造(場所, 形)を学習するために複数の特徴に注意を払う
 2. 単なる分類以上の何かを学習しようとしていた
 - ・ カテゴリーの妥当性など
 3. 注意をよりひきつけてしまう刺激もある
 - ・ 注視とエラーの変化が同時に起こることを説明できない
- ◇ 1つの特徴からテストを始めるモデルは不完全
 - ▶ エラーの激減 = ルールが簡単であったため
- ★ なぜ, 全ての特徴に注目するのか?

5.3. Implications for multiple-systems theories of category learning

- ◇ カテゴリー学習者は1つ以上の学習方略を使う
 - ▶ その中に全ての特徴に注目する方略が含まれる

5.3.1. Rule testing plus exemplar memorization

- ◇ 特徴を探索しながら個別の事例も覚える
 - 全ての特徴に注目
 - 1つの特徴に関する仮説がだめになったときのため
 - 例外の記憶にも役立つ
- ▶ 完璧なルールが見つかった後でも事例に影響される

5.3.2. Exemplar memorization plus spontaneous rule noticing

- ◇ 事例の収集からはじめルールに気づく
 - ▶ 事例の収集
 - 全ての特徴への注目
 - ▶ ルールに気づく
 - エラーの激減

5.3.3. Rule testing (or noticing) plus meaningful interfeature relations

- ◇ 特徴間に意味のある, 既存の記憶に基づく関係があると考えられる
 - ▶ 特徴間の関係を考える

- ◇ 参加者は **opportunistic learner** と考えられる
 - ▶ 同時に複数の方略を用いる
 - 解決につながる方略を選択する
 - ▶ 全ての刺激への注目が必要とされる方略
 - 事例の記憶
 - 記憶との比較
 - 特徴間の意味ある関係を見つける
 - ▶ 全刺激への注目はいろいろな学習方略の可能性を最大にする
- ◇ カテゴリー学習は 1 つ以上の学習モジュールを含む
 - ▶ 現在のカテゴリー学習における傾向と一致
 - ATRIUM (Erickson & Kruschke, 2001)
 - COVIS (Ashby, Alfonso-Reese, Turken, & Waldron, 1998)
- ◇ 異なるクラスターのパフォーマンスは追加的な証拠となる
 - ▶ 例) Type I では 1 つの特徴に関するルールを見つける方略が有利だが, 確率的に事例収集に
- ◇ 学習方略の分類, インタラクションには更なる研究が必要

- ◇ 全ての刺激に注目しない参加者もいた
 - ▶ 全ての人がいかなる方略を用いるわけではない
 - ▶ 特定の方略へ傾倒する人もいる

5.4. Attention to dimensions vs. objects in category learning

- ◇ 2 つの **selective attention** の分離
 - 比較的重要な刺激特徴
 - 視覚野の **object**
 - ▶ 行動は比較的重要な刺激特徴の影響の情報を与える
 - ▶ 眼球運動は単純な空間的注意の配置
- ◇ なぜ, 分類に関係ないとわかった刺激にも注意を払い続けたのか?
 - ① カテゴリー学習に含まれる方略
 - モジュールが解決している過程の進捗のモニター
 - 解決に至ったモジュール以外の停止
 - ② 特徴の重要性が空間情報の重要性にどれほど変換されるかにおける認知的限界
 - 学習したものは特徴の優先度が高くなる
 - この優先度において最新のデータをキープできない

5.5. Conclusion

☆ **selective attention** を眼球運動を用いて調べた

- ▶ 参加者は刺激特徴への注意の配置をカテゴリーを区別するのに最適な方法で学習した
- ▶ 学習者は学習初期段階においては全ての特徴を注視する傾向がある
- ▶ 眼球運動の1つの特徴への変化はエラーが大きく減少した後に起こる傾向にある
 - 1つのモジュールが学習問題を解決した後に参加者がほかの学習方略を中止する過程
 - 視覚野における優先度の影響の限界

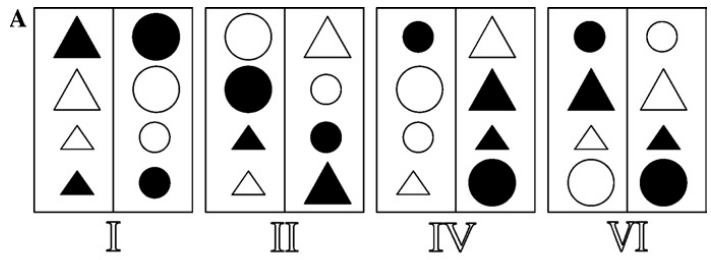


Fig. 1. (A) Category structures Type I, II, IV, and VI from Shepard et al. (1961), Experiment II.

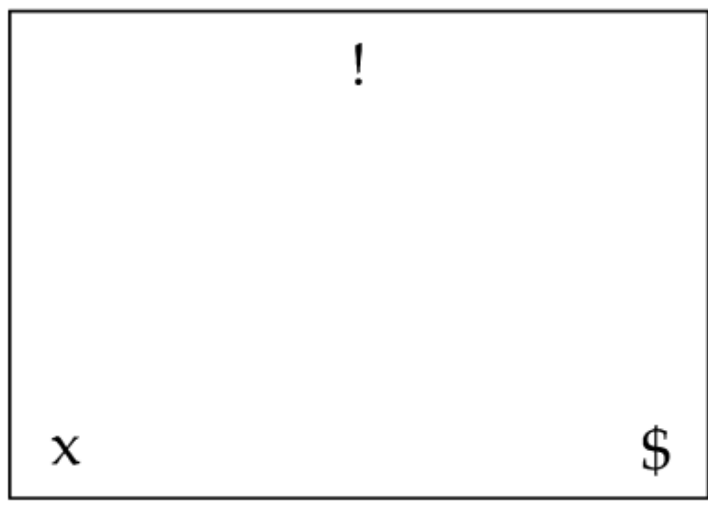


Fig. 2. Example of stimulus presentation.

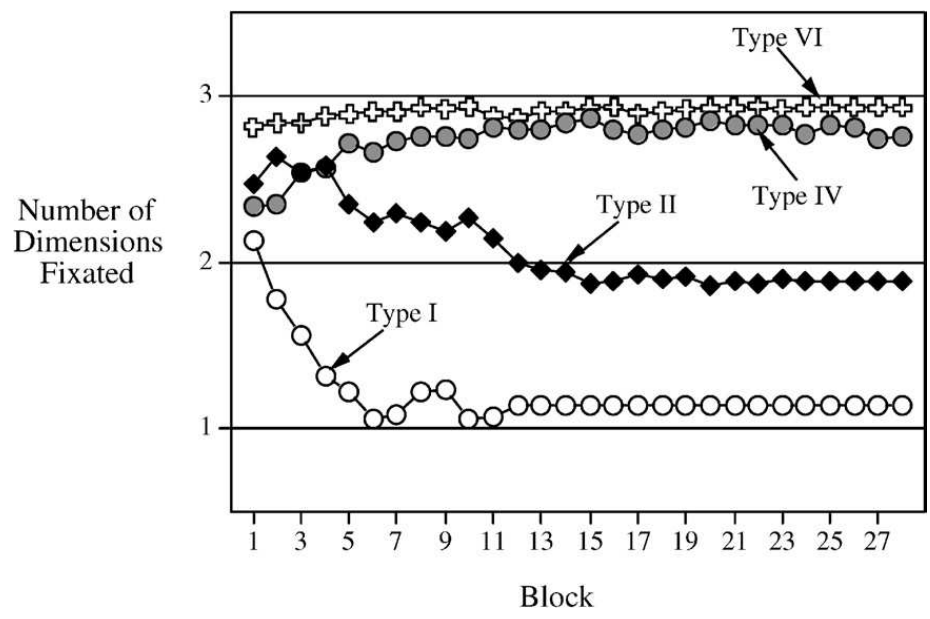


Fig. 3. The number of dimensions fixated as a function of training block and category structure.

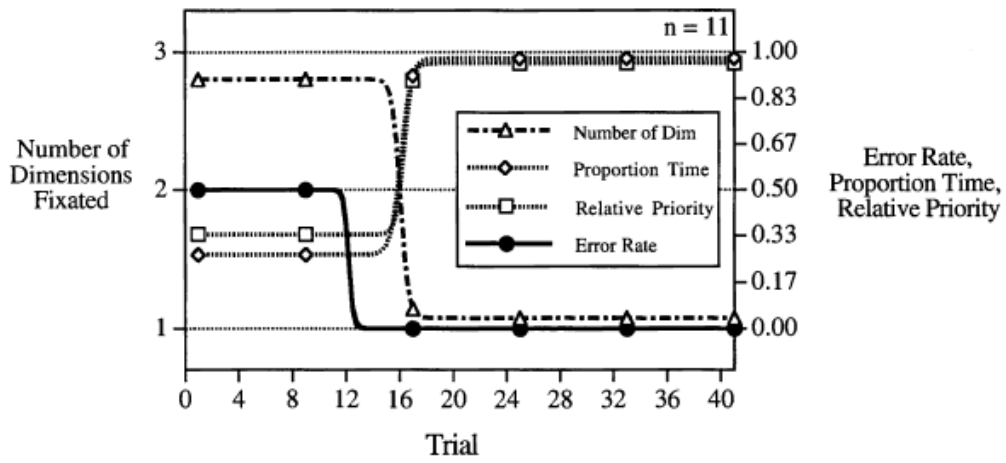


Fig. 6. The modal cluster of Type I learners.

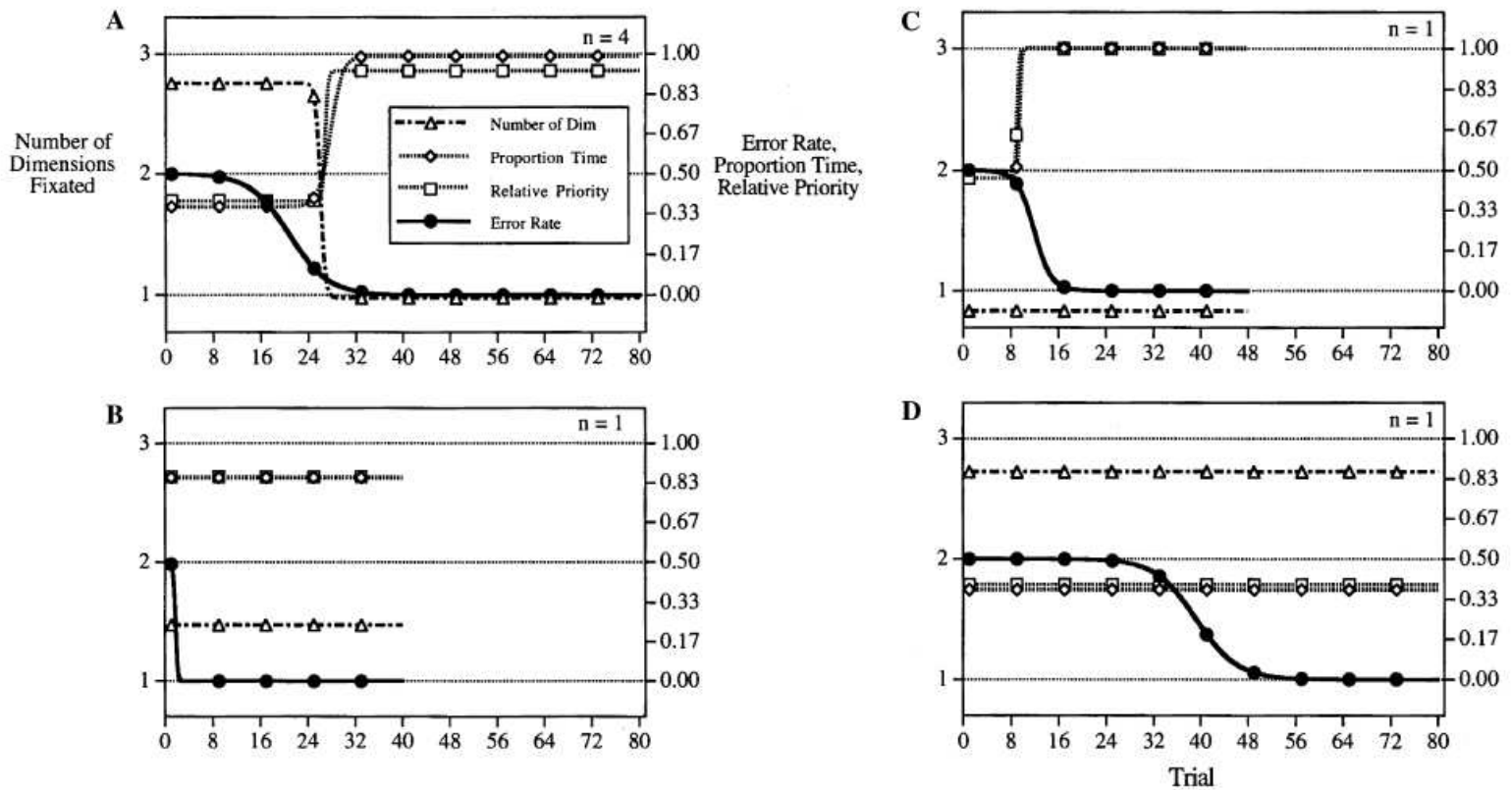


Fig. 7. Four clusters of atypical Type I learners.

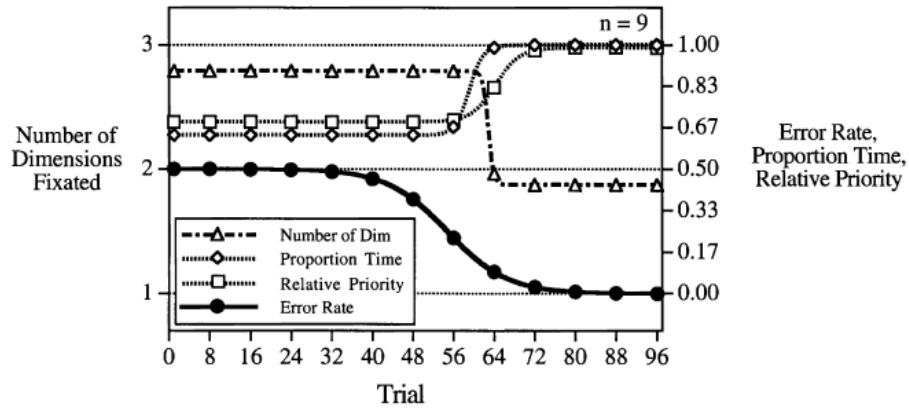


Fig. 10. The modal cluster of Type II learners.

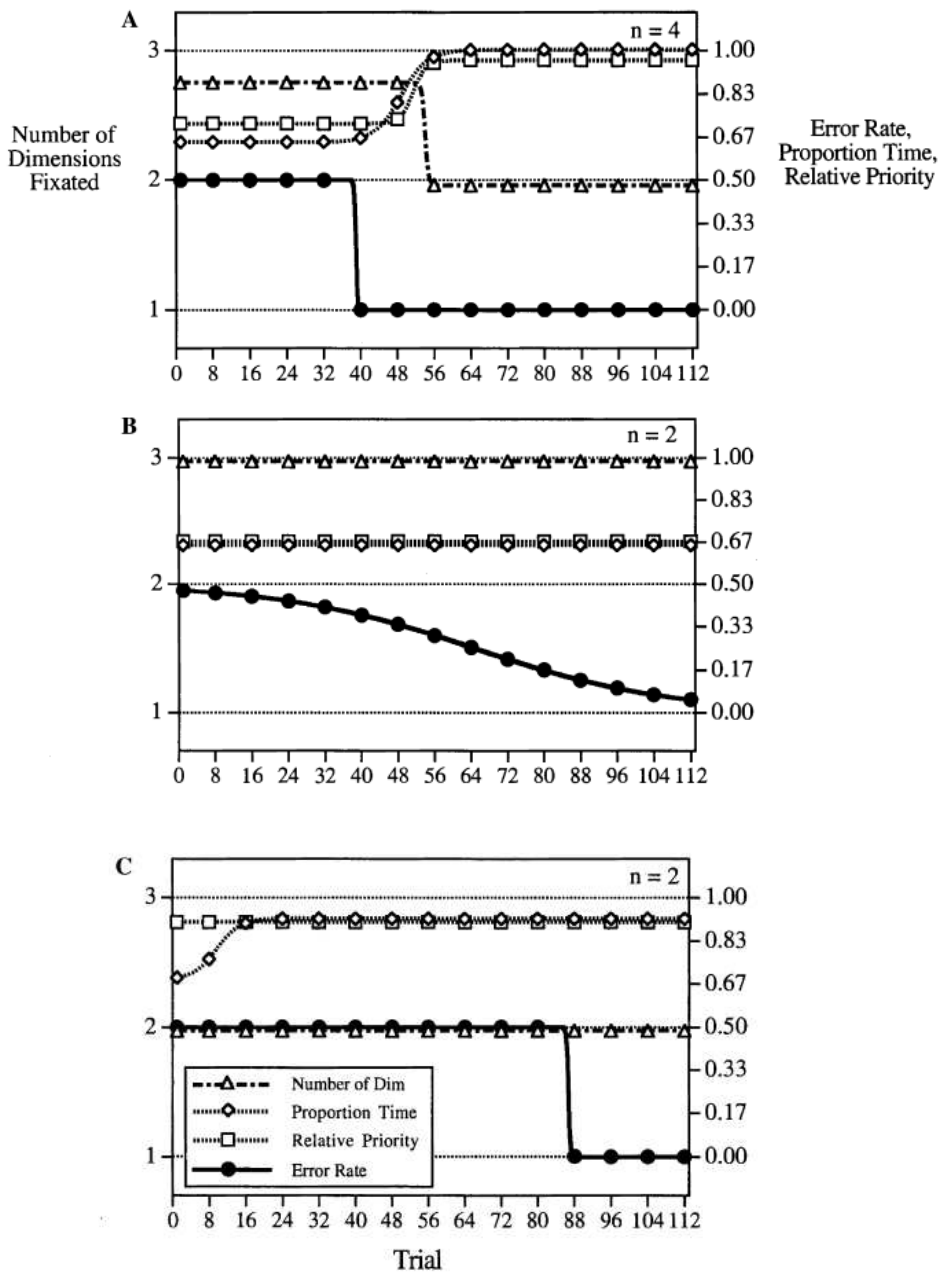


Fig. 11. Three clusters of atypical Type II learners.

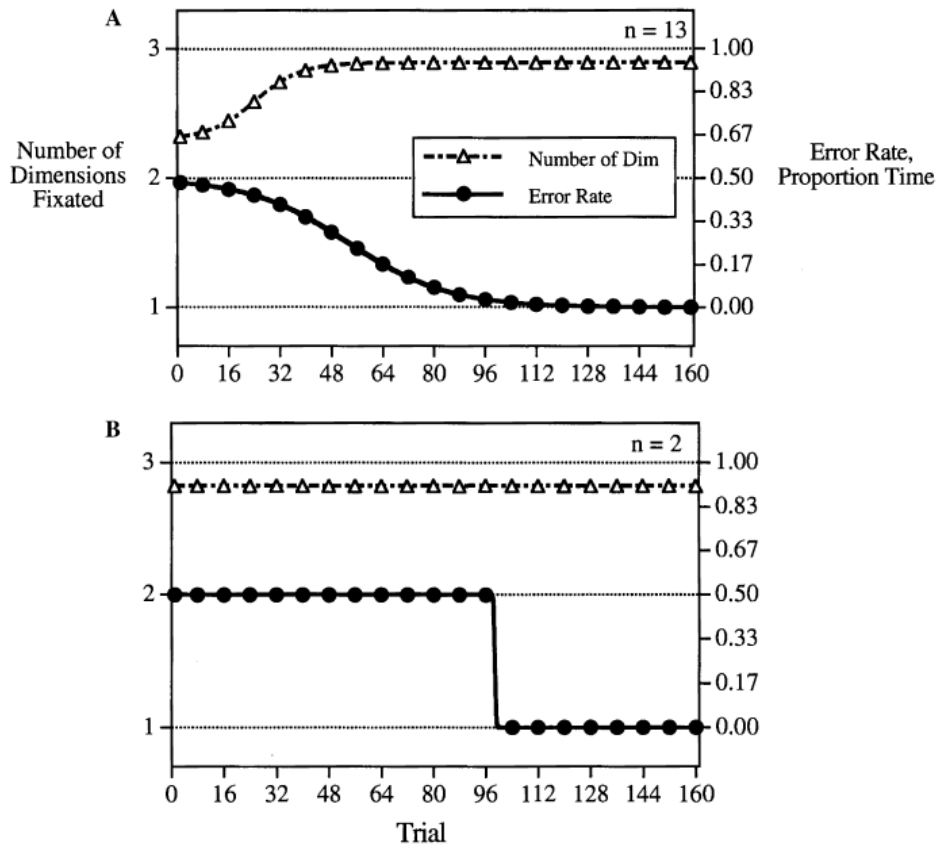


Fig. 16. Two clusters of Type IV learners.

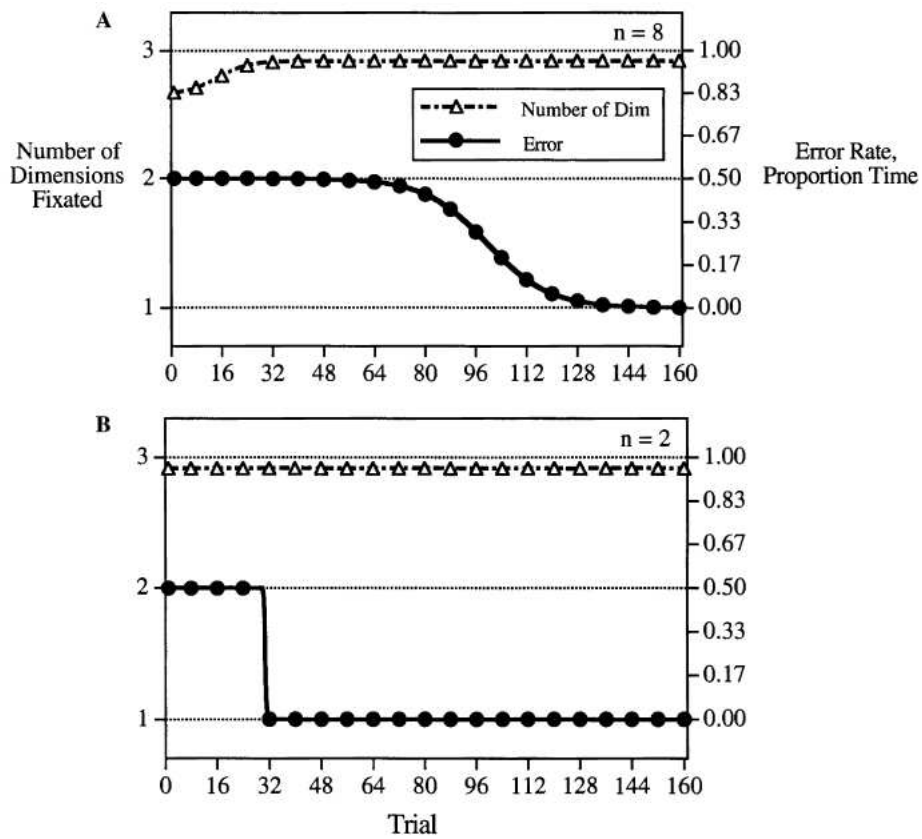


Fig. 17. Two clusters of Type VI learners.

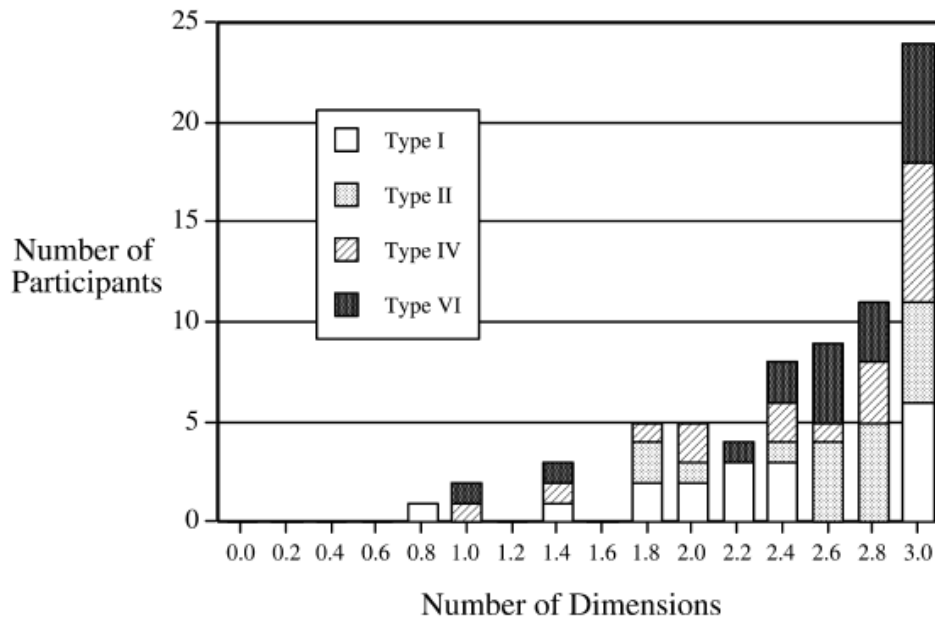


Fig. 19. Number of dimensions fixated in the first five trials of the experiment for all 72 participants.

Table 1
Average parameter values of the sigmoid fits to each dependent variable for each category type

Category structure	Dependent variable			
	No. of dimensions	Proportion time	Relative priority	Error rate
Type I				
<i>Initial</i>	2.61	0.34	0.39	0.50
<i>Diff</i>	-1.45	0.60	0.53	-0.50
<i>m</i>	1.43	1.34	2.11	2.28
<i>b</i>	18.7	19.2	19.2	14.5
Type II				
<i>Initial</i>	2.71	0.65	0.72	0.50
<i>Diff</i>	-0.67	0.30	0.21	-0.50
<i>m</i>	0.77	0.38	0.34	0.51
<i>b</i>	60.1	56.0	61.0	50.0
Type IV				
<i>Initial</i>	2.31			0.50
<i>Diff</i>	0.58			-0.50
<i>m</i>	0.11			0.12
<i>b</i>	24.4			59.5
Type VI				
<i>Initial</i>	2.71			0.50
<i>Diff</i>	0.21			-0.50
<i>m</i>	0.13			0.23
<i>b</i>	14.7			85.8

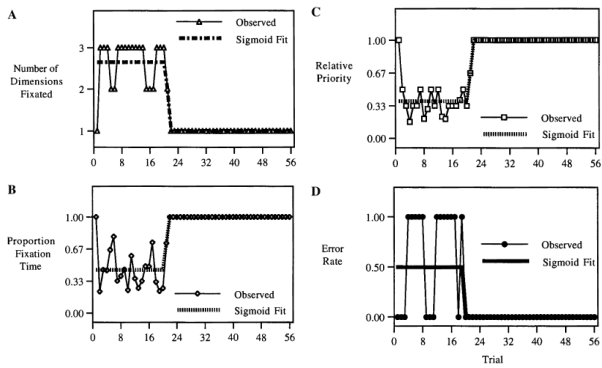


Fig. 4. Performance on the 56 trials of one Type I learner. (A) Number of dimensions fixated. (B) Proportion fixation time. (C) Relative priority. (D) Errors.

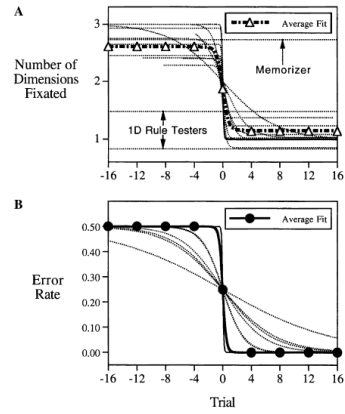


Fig. 5. Backward learning curves for the 18 Type I participants. (A) Number of dimensions fixated. (B) Errors. Performance of the average Type I participant is superimposed on the individual curves.

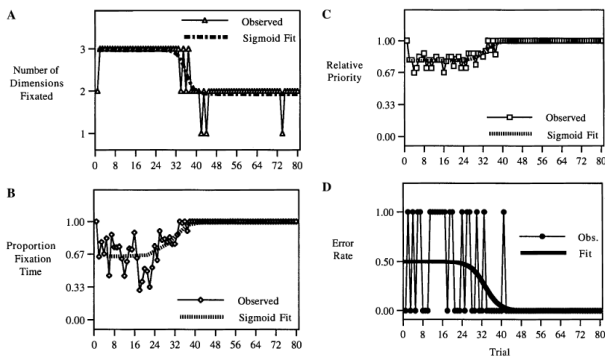


Fig. 8. Performance on the 80 trials of one Type II learner. (A) Number of dimensions fixated. (B) Proportion fixation time. (C) Relative priority. (D) Errors.

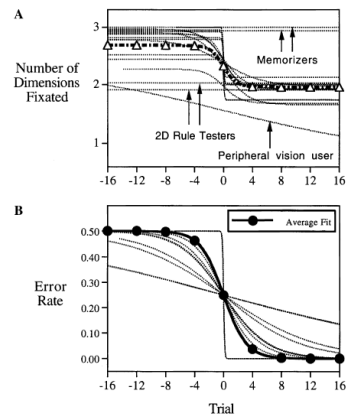


Fig. 9. Backward learning curves for the 18 Type II participants. (A) Number of dimensions fixated. (B) Errors. Performance of the average Type II participant is superimposed on the individual curves.

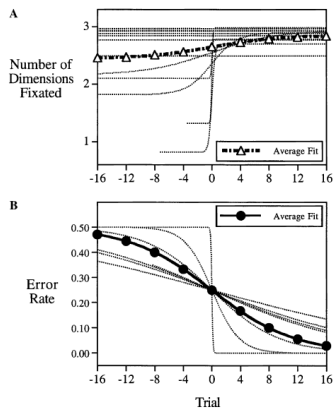


Fig. 14. Backward learning curves for the 15 Type IV participants who reached the learning criterion. (A) Number of dimensions fixated. (B) Errors. Performance of the average Type IV participant is superimposed on the individual curves.

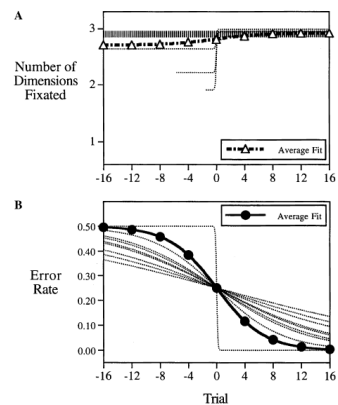


Fig. 15. Backward learning curves for the 15 Type VI participants who reached the learning criterion. (A) Number of dimensions fixated. (B) Errors. Performance of the average Type VI participant is superimposed on the individual curves.