

Analogy Use in Eitgh-Grade Mathematics Classrooms

Richland, L. E., Holyoak, K. J., & Stigler, J. W.
Cognition and Instructions 22 (2004). 37–60.

概要

1. Introduction: 思考と学習における類推の重要性、実験室における類推研究、本研究の目的
2. Method: データ:TIMSS プロジェクト, コーディングスキーマ
3. Results: 類推の利用頻度, 類推の表層的類似性, 類推と目標・文脈
4. Discussion: 実験室と教育現場へのインプリケーション

1. Introduction

- 実証研究者の主張: 類推は人間の思考と学習の重要なコンポーネント
 - ◆ 抽象概念の学習に有効 (Brown & Kane, 1988; Gentner, Holyoak, Kokinov, 2001)
 - ◆ 手続きの学習に有効 (Goswami, 1992; Ross, 1987)
 - ◆ 新たな数学の問題解決に有効 (Bassok, 2001; Novick & Holyoak, 1991; Ross, 1987)
 - ◆ 新たな文脈への適応に有効 (Holyoak, & Thagard, 1995)その他省略
- 人間の類推について分かっていること
 - ◆ 自発的な転移の困難さ (Gick & Holyoak, 1980, 1983)
 - ターゲット (新しい問題) として放射線問題
 - ソース (解法付きの問題) として要塞問題
 - *ソースとターゲットは構造的に同一
 - ソースをターゲットの直前に与えるだけでは転移に失敗
 - ヒントを与えれば転移率は大幅に向上
 - ◆ 類推のサブコンポーネント (Holyoak, Novick, Meltz, 1994)
 - ターゲット・ソースの表象 (ソースの検索)
 - 写像 (対応付け)
 - 推論 (inference) と適応 (adaptation)
 - ◆ 類推に影響を与えるターゲット・ソース表象の類似性
 - 表層的類似: オブジェクトの保持する特徴の類似
 - 関係的類似(構造的類似): オブジェクト間の関係性の類似 (Gentner, & Toupin, 1986)
 - ◆ スキーマ帰納 (Novick & Holyoak, 1991)
 - 類推の結果によって生じる学習
 - ターゲットとソースの共通構造がスキーマとして生成 転移の成立
- 人間の類推について分っていないこと
 - ◆ 日常的な人と人との相互作用の中でどのように類推が用いられるのか不明
 - ◆ 過去の実験的研究は高度に構造化 (実験者がソースとターゲットを注意深く作成) 選択肢が制約されない状況でどのようにソースやターゲットが選択されるかが不明 (例外として Dunbar, 1995, 1997, 2001)
- 本研究の目的
 - ◆ 数学の教室で自然に生じる教授のための類推を分析
 - 数学の教室を対象とした理由

- 数学の教室であれば，抽象概念や手続きの学習，問題解決などの多様な目的での類推の使用が期待 (Bassok, 2001; Goswami, 1992; Kolodner, 1997; Ross, 1987)
- 抽象構造のスロットを変更することこそ数学 類推研究の知見と良く適合
- ◆ 実験室の知見と日常場面との橋渡し
 - 実験室研究に基づいてデータを解釈

2. Method

2.1. Data

- ◆ データソース
 - TIMSS (Third International Mathematics and Science Study) の一貫として記録されたビデオデータ
 - 全米の公立・私立学校から無作為抽出された 81 の授業記録
- ◆ 分析データ
 - TIMSS によって記録された授業データから 25 の授業を無作為抽出
 - 8 年生の数学の授業，それぞれの授業時間は 50 分
 - 異なる教師・異なる教授内容

2.2. Overview of data analysis

- 分析装置
 - ◆ V-Prism 3.045 (Knoll & Stingler, 1999)
 - プロトコル分析補助ツール
 - ハードディスクに取り込まれたビデオデータに対して，テキストによるコーディングが可能
- (定性的な) コーディングスキーマの作成
 - ◆ 類推に関する実験研究との対応と実データとのマッチングの循環に基づいて作成
 - ◆ 以下 7 つの通過点 (pass) を含むコーディングスキーマ

Pass 1 and 2: Identifying analogies

- ビデオデータから類推の生起した系列を同定
 - ◆ 同定された類推を分析の単位 (unit of analysis)
- 類推の定義 (Gentner, 1983 に基づく)
 - ◆ “ソースとなる対象/構造” と “ターゲットとなる対象/構造” の 2 つが言語化
 - 対象 = 全体の機能の観点からの entity (分析の最小単位)
 - ◆ ソースからターゲットへの “写像” のプロセスが言語化
 - 写像 = ベース中のオブジェクトとターゲット中のオブジェクトを述語に基づいて整理
- 手続き
 - ◆ 上記の類推の定義に合致する系列 (sequence) を 5 授業分のビデオデータから抽出
 - ◆ 抽出された系列からキーワードの抽出 (same, just like, similar)
 - ◆ 25 時間分のビデオデータに対してキーワードをハイライト (V-Prism の機能?) し，潜在的な類推とみなす
 - ◆ コーダー 1 名による見逃しの確認
 - ◆ 潜在的な類推をチェックし，以下のコードを付与

- relational mapping: ソースからターゲットへの明確な写像が言語化
- continuation: 以前の類推からの連続
- toward mapping: 関係的な写像が示唆されているもののソース・ターゲット・写像のコンポーネントの全てがそろわないもの
- ◆ 相互に独立した類推の系列を同定 (Table 1 に例)
- ◆ 4 授業分, 潜在的類推 105 事例に対する第 2 コーダーとの一致率: 86% , $k=.65$

Pass 3: Source-target construction

- 抽出された類推系列に含まれるソースとターゲットのそれぞれをカテゴリ化
 1. Nonmath: 数学外のソース
 2. Schema: スキーマ (数学外の文脈での一般的なルール)
 3. Decontextualized: 脱文脈化された数学の問題 (数字のみで構成される数学の問題)
 4. Contextualized: 文脈化された数学の問題 (文章題)
 5. Multiple: 一つの類推系列の中に複数のソース, ターゲットが含まれるもの
- 22 の事例に対する一致率: ソースで $k=.72$, ターゲットで $k=.81$

Pass 4: Surface similarity

- 抽出された類推系列におけるソースとターゲットの類似関係をコーディング (Table2 に例)
 - ◆ Far distance: Pass 3 においてソースが 1 とコーディングされた場合
 - ◆ Schema involved: Pass 3 においてソースが 2 とコーディングされた場合
 - ◆ High-similarity: Pass 3 においてソースが 3 か 4 とコーディングされ, 以下の条件に当てはまる場合
 - 解に至るまでのステップ数が同一
 - もし, 数式中の数字に変更があったとき, そのカテゴリが変わらない (整数から少数などは不適合)
 - 変数に変更があった場合, 異なる変数名が同一のスロットに使用されている (クロス-マップしない状態)
 - 幾何学的図形が含まれる場合, その形状が同一でサイズが異なるもの
文章題の場合, 文脈が同一のもの
 - ◆ Low similarity: Pass 3 においてソースが 3 か 4 とコーディングされ, 以上の条件のいずれか一つ以上に従わないもの
- 17 の事例に対する一致率: $k=.88$

Pass 5: Instructional goal

- 目標と類似性との間の関連 (Holyoak, 1985) を検討するために, 類推を使用した際の教師の目標をコーディング (Table 3 に例)
 - ◆ Being a math student: 数学能力や習慣を方向付けるための類推, もしくは教訓
 - ◆ Concepts only: 数学的概念 (少数など) を教授するための類推
 - ◆ Concept and procedures: 一般的に通用する概念を教授するもので, 手続き的なことを含むもの
 - ◆ Procedures only: 特定の種類の問題のみに適用可能なルールを教示する類推
- 23 の事例に対する一致率: $k=.75$

Pass 6: Student context

- 類推を教師が使用したときに生徒が困難を感じていたかどうかをコーディング
 - ◆ Following students difficulty: 類推の直前のプロトコルに生徒による質問が存在する場合, もしくは教師の質問に生徒が答えられなかった場合

- ◆ Not following students difficulty: 上記以外の場合
- 23 の事例に対する一致率: $k=.75$

Participant structure

- 類推の使用における参加の構造をコーディング（教室での類推は教師と生徒の相互作用の中で構成される）
 - ◆ Teacher: 教師による
 - ◆ Student: 一人の生徒による
 - ◆ Class: 教師と生徒の両者による，もしくは複数の生徒による
- プロトコル中の類推の系列を以下の5つに分割し，それぞれに対して，上記のコーディング
 - ◆ Target representation: ターゲットの提起
 - ◆ Source representation: ベースのはじめの提起
 - ◆ Elaboration of source: 提起されたベースに対する表象の追加，精緻化
 - ◆ Finding a mapping: 共通点の言及
 - ◆ Making inference: 共通点に基づく推論
 - ◆ Problem solving: 類推の対象となった問題に対する解の生成
 - ◆ Not explicit: 明示的なコンポーネントの分割ができなかった系列
 - *基本的に，Holyoak, Novick, & Melz (1993) に導かれたコード . 3 番目と 7 番目は循環的なコーディング手続きを通して生成されたコード
- 77 のコンポーネント（13 の類推）に対する一致率: $k=.69$

3. Results

3.1. Production of Analogies

- 類推の使用数
 - ◆ 全体で 103 の類推
 - ◆ 1 授業あたり 4.1 (SD = 2.6, Range: 1-11)

3.2. Structure

- Table 4: ソースとターゲットの種類 (Pass 3) の頻度分布
 - ◆ ソースの種類について有意な偏り [$\chi^2(4, n=103) = 26.5, p < .001$]
 - 教室では使用されやすい特定のソースの種類が存在
 - ◆ ターゲットの種類について有意な偏り [$\chi^2(4, n=103) = 68.4, p < .001$]
 - 教室では使用されやすい特定のターゲットの種類が存在
 - ◆ ソースとターゲットに共通した傾向
 - Decontextualized (数字のみの問題) が最も多い
 - ◆ ソースとターゲットの差異
 - Nonmath はターゲットよりもソースのほうが多い 数学の授業だから驚くべき結果ではない
 - Schema はソースよりもターゲットで多い 単一の問題だけでなく，抽象的な概念を教授するためにも類推が使用
 - ◆ 複数のソースを利用した類推の存在
 - 複数のソースはスキーマ帰納を導くという知見 (Gick & Holyoak, 1983) と一致

3.3. Surface Similarity

- Table 5: ソースとターゲットの類似性 (Pass 4) の頻度分布
 - ◆ 4 つの類似性に有意な偏りなし [$\chi^2(3, n=103) = 3.058, p = .3$]
 - 4 つのタイプは数学の教室において均等に用いられる類推

- 78 事例 (76%) が表層的に類似 (High-surface similarity) していない 教室では実験室よりも構造的に類似した類推が使用されやすい

3.4. Mathematical Context

- Table 6: 類推における教師の目標 (Pass 5) の頻度分布
 - ◆ 教師の目標に有意な偏り [$\chi^2(3, n = 103) = 20.1, p < .001$]
 - Procedures only > Concept and procedure > Concepts only
 - アメリカの数学の授業に概念の教授がほとんど含まれないという報告 (Stigler et al., 1999) を考慮すれば顕著な概念の数
 - 社会化を目指した類推が 6% , 実験室では検討されてこなかった類推

3.5. Structure-context relationship

- 類推と目標の関連を検討するために実施 (Holyoak, 1983)
 - ◆ 3.5 のコードを改変
 - Procedures only: Pass 5 における Procedures only
 - Concept present: Pass 5 における Concepts and procedure と Concepts only の合計
 - Being a math student は除外
- 上記コードと 3.3 におけるソースの種類との関係 (Figure 1)
 - ◆ 目標の種類とソースの種類に有意な関連 [$\chi^2(4, n = 91) = 17.4, p < .001$]
 - 概念の教授に使用されるソースの種類は均等
 - 手続きの教授には数学の問題をソースにし, スキーマはソースにしない
- 上記コードと 3.4 における類似性との関係 (Figure 2)
 - ◆ 目標の種類と類似性の種類に有意な関連 [$\chi^2(4, n = 103) = 37.5, p < .001$]
 - 概念の教授にはスキーマ・遠い類推
 - 手続きの教授には高い表層的類似性

3.6. Student context

- 生徒の状態 (Pass 6) と類推の使用数に有意な関連無し [$\chi^2(1, n = 103) = 1.17, p = .28$]
 - ◆ Following student difficulty: 46 の使用数
 - ◆ Not following student difficulty: 57 の使用数
- 生徒の状態と類推の目標 (3.5 節) との関係 (Figure 3)
 - ◆ 生徒の状態と類推の目標との間に有意な関連 [$\chi^2(1, n = 103) = 14.71, p < .001$]
 - 生徒が問題を感じた後に手続きを教授するための類推が使用される
 - 概念を教授するための類推は生徒の状態によらない
- 生徒の状態と類似性 (3.4 節) の関係 (Figure 4)
 - ◆ 生徒の状態と類似性との間に有意な関連 [$\chi^2(3, n = 103) = 18.20, p < .001$]
 - 生徒の学習状態に問題が生じた後には表層的に類似した類推を使用
 - 遠い類推は生徒の問題に依存しない
 - ◆ 実験的研究における表層的類似が転移を促進するという知見 (Holyoak & Koh, 1987) と合致

3.7. Participant structure

- Table 7: コンポーネントごとの参加構造
 - ◆ 全体的に教師の関与が大きい
 - 84%のソースを教師が提起
 - 77%のターゲットを教師が提起
 - 92%の写像を教師が遂行

- ◆ 教師主導の類推の問題（考察・感想）
 - 教師による問題の設定：生徒の学習状態の問題から類推が生起されたのにも関わらず、ターゲットの設定に生徒が関与していない。生徒の学習の芽を摘んでいる？
 - 生徒は写像のプロセスに参加せず、構造的な類推を理解できるのだろうか？
 - 推論では確かに生徒が参加しているが、推論のプロセスでどの程度構造的な類似性の理解が要求されるのか不明
- ◆ 類推の主要なコンポーネント（ターゲット，ソース，写像）における教師と生徒の参加率に有意な偏り [$\chi^2(3, n = 103) = 19.7, p < .001$]
 - 教師単独での主要コンポーネントの遂行率: 66%
 - 生徒単独での主要コンポーネントの遂行率: 2%
 - 複数人による主要コンポーネントの遂行率: 33%
- ◆ その他重要な知見
 - 86%のソースが繰り返し精緻化
 - 固定されたソースが提示される実験室では観察されない現象で興味深い
 - 明示的類推と非明示的類推に有意な偏り [$\chi^2(4, n=103) = 19.7, p < .001$]
 - 明示的にコンポーネントが区別された類推: 72%
 - 明示的にコンポーネントが区別されなかった類推: 28%
 - 実験室では対応付けの明示性によって転移が促進 (Gick & Holyoak, 1983)
 - 教師は写像を明確にすることで生徒の理解を助けているのでは？

4. Discussion

- 実験室研究に対するインサイト
 - ◆ 表層的類似性と構造的類似性の問題
 - 実験室では、構造のみが類似した類推の利用が困難であることが示される
 - 教室では、表層が類似しない構造のみが類似した類推が多く使用
実験室における類推と自然な状況で使用される類推に差異あり
 - ◆ 目標や文脈の影響
 - 実験室では被験者に明確なゴールが与えられない (e.g., Ross, 1987, 1989)
 - 教室では類推の目標によるソースの使い分けを観察（概念の教授で構造的類推）
構造的な類推は具体的な目標を持つことによって生起するのかもしれない
- 教育現場へのインプリケーション 1
 - ◆ 教師による類推は実験室の知見から最適な類推と同一
 - 教師は実験室で得られてきた知見と同じことを経験上、良く知っている？
 - ◆ 概念の教授と距離の離れた類推
 - 距離の離れた類推は生徒の良く知るソース（みかんなど）を利用したものでは？
 - 良く知っているソースであれば、抽象的概念の理解に有効かもしれない
 - ◆ 学習状態の問題（手続きの理解に問題）に続く表層的類推
 - 表層的に類似した類推であれば、学習状態に問題のある生徒でも理解でき、問題解決の手続きを転移できるかもしれない
 - ただし、学習とは別問題。学習には構造的に類似した類推が有効 (Gick & Holyoak, 1983)
- 教育現場へのインプリケーション 2
 - ◆ 教師主導の類推について
 - 生徒が類推に参加しなければ距離の離れた類推の理解ができないのでは？
 - 実験室研究では距離の離れた類推は類似点に気づきづらいと指摘

- 生徒が類推に参加しなかったことについて考えらえる原因
 - 実験室におけるエキスパート-ノービスの関係と対応したものかも
 - 実験室ではノービスが自発的に類推を遂行できないことを指摘
- ◆ 推論や問題解決における生徒の参加について
 - 教師は、類推に生徒を参加させる努力はしていたと解釈が可能
 - ただし、推論や問題解決ではなく、ターゲット、ベース、写像が類推の最も重要なコンポーネントであることが指摘 (Holyoak & Thagard, 1995)
 - 推論は構造的類似性を理解せずとも遂行できる
 - 生徒が推論と問題解決のみに参加したことについて考えらえる原因
 - 生徒の学習状態が不透明であるから、教師が一方向的に主要な類推のコンポーネントを遂行してしまった？
 - 生徒に少しでも参加させるために、残りの推論と問題解決に参加させた？
 - 類推の重要なコンポーネントは写像であるため、教師は生徒に写像を行わせるべき