

Surface and structural similarity in analogical transfer

KEITH J. HOLYOAK and KYUNGHEE KOH

Memory & Cognition, 1987 15(4), 332-340

人は新規な問題に直面したとき，過去の類似した状況から類推を用いて解決する

- 類推は，帰納的な推論生成の中心的役割を担っている
(Holland, Holyoak, Nisbett, & Thagard, 1986)
- analogical transfer は，人工知能を用いたエキスパートシステムより，人の方が柔軟な要因である

一般に，類推とは既知の source 領域の知識を，新規の target 領域に応用すること

- 以下の 4 つの特徴がある（順序は厳密でなく，相互作用することもある）(Holyoak, 1984)
 1. source と target の心的表象の生成
 2. target と関連があると考えられる source の選択
 3. source と target の構成要素 (components) の対応付け (mapping)
 4. 上記の mapping 結果を，target 解決のために拡張する
- 2 つ目の特徴が重要だろう
 - 特に，source と target 間が異なる領域のとき，どのように問題解決者が source から関連情報を取り出すのか
 - 問題の構成要素の類似性によって，類推的な情報の取り出しが容易になる
(Carbonell, 1983)
 - * ゴール
 - * 開始状態
 - * 問題に対する制約
 - しかし，未だ有用なスキーマは，computational でも心理学的でも認められていない

Evidence for Spontaneous Use of Analogies

- source analogy の説明には様々ある
 - target に対し，体系的に (systematic) 転移するもの (Clement, 1982)
 - 手掛かりとして，教師によって教えられるもの (Gentner & Gentner, 1983)
 - * 本研究では教師の介入がない，target と関連する情報の取り出しと，注意を扱う

- 人の自発的な類推の利用についての条件に関しては，よく知られていない
 - 自発的な類推の失敗については，多くの研究がある
(Gick & Holyoak, 1980, 1983; Hayes & Simon, 1977; Reed, Ernst, & Banerji, 1974)
 - 例えば，Gick & Holyoak (1980, 1983)
 - * source 後に target を呈示¹
 - * source がヒントであると教示すると，75% が解答
 - * source がヒントであると教示する前は，30% が解答
 - ・ 10% が類推なしに解答²
 - ・ したがって 20% が自発的に類推を行ったと考えられる
- 実際には，より自発的な類推は起こりにくいだろう
 - Gick & Holyoak (1980, 1983) でも，課題は連続的に行われている
 - Spencer & Weisberg (1986) では，転移は再現されていない
- おそらく異なった領域の自発的な転移は，multiple source analogy が原因だろう
(Gick & Holyoak, 1983)
 - 以下の 2 条件
 - * 2 種類の収束課題を行い，これらの類似性を検討させた後に，放射線課題を実施
 - * 1 種類の収束課題と無関係の課題を行い，これらの類似性を検討させた後に，放射線課題を実施
 - 放射線課題提示後，以前の課題がヒントになっていることを告げる
 - * ヒントを告げる前後を条件間で比較
 - * 2 種類の収束課題を行った方が，ヒントを告げる前後で，収束的な解を生成していた
 - 明示的なスキーマの呈示が，転移を容易にするのだろう
 - * 一度，スキーマが活性化されれば，新規の問題はスキーマのインスタンスとして扱われる
 - * 以降，初期の analogy に直接的にアクセスしなくても，転移が起こる
- 本研究の目的
 - 自発的な analogical transfer の起こる条件の同定

Surface and Structural Similarity

- *summation of activation*
 - activation-based な cognitive model の一つ
 - 本研究ではこれを拡張し，類似性の取り出しに適用

¹正確には target → source → target のはず

²はじめの target で解答したか？

- * 状況を詳細な、特徴的な要素に分解
- * この各要素が、類似した特徴を持つ他の状況を活性化
- * activation を加重 (summation) することで、複数の弱い手掛かりも影響をあたえることができる
- これによると、表層的類似性の方が、構造的類似性よりも多くの類似性を見つけることができるように思える
 - 実際 …
 - * Gick & Holyoak (1980, 1983) でも (構造的な) 転移は起こりにくかった
 - * Gilovich (1981) は、表層的な手掛かりが、類推的転移に及ぼす効果を実証した
- 本研究では …
 - 以下の2つの類似性について検討する
 - * 表層的類似性
 - * 構造的類似性
 - (まとめると)
 - * 表層的に似ていないということは、構造的類似性保存 (structure-preserving)
 - 構造的類似性
 - * 構造的に似ていないということは、構造的類似性侵害 (structure-violating)
 - 表層的類似性
 - * そもそも、異なる領域間では類似性が低いため、自発的な類推は起こりにくい
 - * 一度、類似性に気づいたとき、表層の手掛かりは、後のプロセスではインパクトは大きくない
 - ・ source の選択では、その後のプロセスと比べ、表層的類似性の効果は大きい
 - * structure-violating では、source 選択後のプロセス (mapping) で、解法の修正が必要になることもあるが、structure-preserving では不要

EXPERIMENT 1

(目的)

- 自発的な類推的転移が起こるか確認する
 - 十分な delay を設定

Method

- Materials
 - 新しい収束課題 (電球問題: “lightbulb story”) を作成
 - * 問題と解法からなる物語で、解法を削ったものを target として使用

Table 1
Correspondences Between Lightbulb Story and Radiation Problem

Lightbulb Story	Radiation Problem
Initial State	Initial State
Goal: Use lasers to fuse filament	Goal: Use X rays to destroy tumor
Resources: Sufficiently powerful laser	Resources: Sufficiently powerful rays
Operators: Reduce laser intensity, move laser source, activate lasers	Operators: Reduce ray intensity, move ray source, administer rays
Constraint: High-intensity laser will break glass	Constraint: High-intensity rays will destroy healthy tissue
Solution Plan: Administer low-intensity lasers from multiple directions simultaneously	Solution Plan: Administer low-intensity rays from multiple directions simultaneously
Outcome: Filament fused by lasers	Outcome: Tumor destroyed by X rays

* (全文は Appendix の First part)

– 電球問題と、放射線問題 (Dunker, 1945) の対応表は Table 1

● Design and Procedure

– 2条件の参加者間計画

* analogy 条件

・ Duncker (1945) の放射線問題と解法が載った教科書を使用

* 統制条件

・ 放射線問題なしの教科書を使用

・ 他の source analogy なし

– analogy 条件の手続き³

1. 授業で放射線問題についてディスカッション

2. 3~7日後に、実験室へ呼び、以下の課題を実施

(a) 電球問題

* ヒントなし

* 可能な限りの解法を記述

(b) 放射線問題

* 授業で行った放射線課題を理解していたかを確認するため

● Subjects

– 心理学入門受講者

– analogy 条件に 12 人, 統制条件に 10 人

– 授業への加点を報酬

³おそらく統制条件は 1 だけなし. 2 は両問題実施.

Results and Discussion

- 収束的解法を回答した割合
 - analogy 条件
 - * 電球問題：81%
 - * 放射線問題：86%
 - 統制条件
 - * 電球問題：10%
 - * 放射線問題：10%
- 分析（最尤法による χ^2 検定）
 - 電球問題 (81% vs. 10%): $G^2(1) = 15.1, p < .001$
 - * analogy 条件の方が転移が起こっていた
 - 放射線問題からは，analogy 条件が同問題の内容を学習していたことがわかった

EXPERIMENT 2

(目的)

- 実験 1 の結果から …
 - 先行研究とは異なり，自発的な類推的転移が多く認められた
(Gick & Holyoak, 1980, 1983; Spencer & Weisberg, 1986)
 - * 先行研究の source/target より，類似性が大きいためだろう
- 実験 2 では …
 - 表層的/構造的類似性の違いが，類推的転移に与える影響を検討する

Method

- Materials
 - source (2 × 2 の参加者間要因，Appendix の Second part: 電球問題)
 - * 表層的類似性 (target の腫瘍破壊との類似性)
 - ・ High：レーザーにより，切断されたフィラメントをくっつける
 - ・ Low：超音波により，くっついたパーツを分離する
 - * 構造的類似性 (target に到達する過程の周辺のもろさを考慮する類似性)
 - ・ High：出力が target に与える影響は十分だが，周囲がもろい
 - ・ Low：出力が単体では target に影響を与えることが不十分
 - target として，放射線問題

- Subjects

- 63人 (16/16/16/15)
- 40分程度
- \$3の謝礼

- Procedure

1. source を実施
 - source を要約する (source は解法つき)
2. filler task として演繹的推論を実施
3. 放射線問題を実施
4. アンケートを実施
 - (a) 電球問題が、放射線問題遂行中のヒントとなったか
 - (b) どんなヒントとなっていると思うか (ヒント明示後の回答として使用)
 - (c) 実験開始前にこの問題および解法を知っていたか

Results and Discussion

- 条件ごとの収束的解法の生成率 (Table 2)
 - A: ヒント前
 - * 構造的/表層的類似性があるときに、最も高い (69%)
 - * どちらかが低いときは、両方高いときより有意に低い⁴
 - ・ 両者の程度 (magnitude) は同程度
 - * 表層的類似性が低いときは、有意に低い ($G^2(1) = 4.42, p < .05$)
 - * 構造的類似性が低いときは、有意に低い ($G^2(1) = 5.92, p < .05$)
 - * 両方低いときは、最も低い
 - B: ヒント後含む
 - * 構造的類似性が低いときは、有意に低い ($G^2(1) = 4.31, p < .05$)
 - * 表層的類似性の違いは認められず ($G^2(1) < 1$)
 - 追加分析 (加重最小二乗法): A vs. B
 - * 表層的類似性はヒント前後で違いあり (Wald statistic = 4.20, $df = 1, p < .05$)
 - * 構造的類似性はヒント前後で違いなし (Wald statistic = 1.58, $p > .20$)
 - ・ 表層的類似性は、source の類似性を target に適用する以前に効果を及ぼす (mapping プロセス以前に効果を及ぼす) という主張を支持

⁴検定量なし

Table 2
Percentage of Subjects Producing Convergence Solution
(Experiment 2)

Structural Similarity (Constraint)	Surface Similarity (Instrument)		Mean
	High (Laser)	Low (Ultrasound)	
A. Prior to Hint			
High (Fragile glass)	69	38	54
Low (Insufficient intensity)	33	13	23
Mean	51	26	
B. Total (Before and After Hint)			
High (Fragile glass)	75	81	78
Low (Insufficient intensity)	60	47	54
Mean	68	64	

Table 3
Percentage of Subjects Reporting Noticing of Analogy
(Experiment 2)

Structural Similarity (Constraint)	Surface Similarity (Instrument)		Mean
	High (Laser)	Low (Ultrasound)	
High (Fragile glass)	88	56	72
Low (Insufficient intensity)	40	13	27
Mean	64	35	

A: ヒント前, B: ヒント後含む

- source がヒントとして利用できることに気づいたか (Table 3)
 - 表層的類似性が低い場合, 気づきが下がる ($G^2(1) = 5.30, p < .05$)
 - 構造的類似性が低い場合, 気づきが下がる ($G^2(1) = 13.1, p < .001$)
- 物語 (課題文) の要約を行ったとき, 重要でないことは省略される傾向あり (e.g., Thorndyke, 1977)
 - “様々な方向から” という記述について再集計, 分析⁵
 - * 構造的類似性では, High > Low (66% vs. 30%; $G^2(1) = 8.05, p < .005$)
 - * 表層的類似性では, 有意差なし (High 52% vs. Low 45%)

GENERAL DISCUSSION

本研究では, 人が新規な問題に直面したとき, 先の経験から自発的に類推できることを示した

- target と source が複数の類似性を持つときに最も自発的類推が起こった
- 本研究の結果からは, 記憶探索の手掛かりとしての複数の特徴による, summation of activation に基づくメカニズムが関連していると考えられる

表層的/構造的類似性の両方が, ヒント呈示前の類推喚起に影響を与えた

- 構造的類似性のみが, 一度, 類似性を取り出したのちに, (target に) 応用できた⁶
- これは, Gentner & Landers (1985) と矛盾しない
 - 表層的類似性は access の方が, application よりも影響を与える

⁵様々な方向から照射するということが含まれているかを分析

⁶表層的類似性は, ヒントを明示する前後で, 違いがないことに由来していると思われる

本研究の限界と表層的“非”類似性

- 表層的類似性が，source の mapping に影響を与えないとはいいい切れない
 - － 本研究では，扱った題材の範囲も狭く，実験 2 での操作も十分でない⁷
 - － また，表層的“非”類似性⁸は，mapping をより困難にする指摘もある
 - * (参考：Holyoak, Junn, Billman, 1984)

APPENDIX
Four Versions of the Lightbulb Story

First part, all versions

In a physics lab at a major university, a very expensive lightbulb which would emit precisely controlled quantities of light was being used in some experiments. Ruth was the research assistant responsible for operating the sensitive lightbulb. One morning she came into the lab and found to her dismay that the lightbulb no longer worked. She realized that she had forgotten to turn it off the previous night. As a result the lightbulb overheated, and [the filament/two wires in the filament] inside the bulb [had broken into two parts/fused together]. The surrounding glass bulb was completely sealed, so there was no way to open it. Ruth knew that the lightbulb could be repaired if a brief, high-intensity [laser beam/ultrasound wave] could be used to [fuse the two parts of the filament into one/jar apart the fused parts]. Furthermore, the lab had the necessary equipment to do the job

Second part, fragile-glass versions

However, a high-intensity [laser beam/ultrasound wave] would also break the fragile glass surrounding the filament. At lower intensities the [laser/ultrasound wave] would not break the glass, but neither would it [fuse the filament/jar apart the fused parts]. So it seemed that the lightbulb could not be repaired, and a costly replacement would be required.

Ruth was about to give up when she had an idea. She placed several [lasers/ultrasound machines] in a circle around the lightbulb, and administered low-intensity [laser beams/ultrasound waves] from several directions all at once. The [beams/waves] all converged on the filament, where their combined effect was enough to [fuse it/jar apart the fused parts]. Since each spot on the surrounding glass received only a low-intensity [beam/wave] from one [laser/ultrasound machine], the glass was left intact. Ruth was greatly relieved that the lightbulb was repaired, and she then went on to successfully complete the experiment.

Second part, insufficient-intensity versions

However, the [lasers/ultrasound machines] only generated low-intensity [beams/waves] that were not strong enough to [fuse the filament/jar apart the fused parts]. She needed a much more intense [laser beam/ultrasound wave]. So it seemed that the lightbulb could not be repaired, and a costly replacement would be required.

Ruth was about to give up when she had an idea. She placed several [lasers/ultrasound machines] in a circle around the lightbulb, and administered low-intensity [laser beams/ultrasound waves] from several directions all at once. The [beams/waves] all converged on the filament, where their combined effect was enough to [fuse it/jar apart the fused parts]. Ruth was greatly relieved that the lightbulb was repaired, and she then went on to successfully complete the experiment.

Note—Differences between laser and ultrasound versions in brackets.

(Manuscript received May 15, 1986;
revision accepted for publication November 17, 1986)

⁷刺激を作るのに，1 箇所変更しただけということで，不十分と考えられる

⁸dissimilarity: 表層的相違の方が適切か？