

What Makes an Insight Problem? The Roles of Heuristics, Goal Conception, and Solution Recoding in Knowledge-Lean Problems

Chronicle, E. P., MacGregor, J. N., Ormerod, T. C.

Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 2004, Vol. 30, No. 1, 14 - 27

Abstract

- 変形問題(transformation problems)と洞察問題(insight problems)の違いに対して共通のフレームワークを与える
 - ヒルクライムヒューリスティックス
- 洞察的な特徴を持つ変形問題を 4 つの実験で調査
 - 実験 1
6 コイン問題で明確で視覚的な解を与えた場合、パフォーマンスは、ヒルクライムヒューリスティックス従う。
 - 実験 2
潜在的に洞察を要求する問題の難しさ：潜在的な概念ブロックを形成するヒルクライムヒューリスティックスが原因となることが示された。
 - 実験 3
潜在的洞察解の困難さは概念的であり、手続き的ではないことが示された。
 - 実験 4
6 コイン問題と 10 コイン問題において、同一の移動選択の原理を示した。
 - さらに,,,「解の記憶仮説」が洞察の現象学の一部に説明を与えるだろう

イントロダクション

- 洞察は問題解決行動の種類を区別しているのか？
 - ゲシュタルトの説明に端を発する：洞察問題解決のメカニズムとして概念の再構成を強調
 - ゲシュタルトの解釈は、規則的なゴールへの段階的接近ではなく、ステップファンクションとしての洞察観として現在の認知科学に残っている（飛躍的洞察観）
 - この議論は、通常の問題解決(e.g., Simon, 1986)や特別な問題解決(e.g., Schooler, Ohlsson, & Brooks, 1993; Wertheimer, 1985)に受け継がれてきた
- この議論の源
 - 何が厳密な意味で洞察問題なのか (Metcalfe and Wiebe(1987))
 - 洞察研究において使われる問題の選択基準
先行研究における洞察問題として用いられているから
- 洞察問題を定義するア・プリオリな 3 つのアプローチを明らかにする
 - (1) 現象学的アプローチ：現象学の用語において洞察を定義 (warmth rate など)
 - (2) 概念変化アプローチ：洞察的解法に対する概念的知識における変化を強調 (Knoblich, Ohlsson, & Raney, 2001; Seifert, Meyer, Davidson, Patalano, & Yaniv, 1996)
 - (3) プロセスアプローチ：洞察問題解決のもとにあるプロセスを確認する (Kaplan & Simon, 1990; MacGregor, Ormerod, & Chronicle, 2001)
 - 現象学的アプローチ, 概念変化アプローチ
洞察問題解決の特別な性質を強調
 - プロセスアプローチ

洞察問題と非洞察問題の間の類似性を強調

- 3つのアプローチの間の共通事項
 - 「洞察は初期の問題表現の何がしかの再構成を含む」
- 未解決の問題
 - 「何が再構成の性質なのか」「再構成の下にあるプロセスが特別なのか否か」
- Weisberg(1996)による定義
 - ◇ 「不連続性(discontinuity)」
移動における変化
 - ◇ 「再構成(restructuring)」
問題表現における変化を含む(つまり,問題の初期状態またはゴール状態,移動を組み立てるためのオペレータ,または,移動のもとにある制約の再概念化)
- 問題が洞察を含むかの否かの診断(Weisberg(1996))
 - ◇ (1) もし解法のプロセスが不連続性(アプローチにおける変化)を示すなら,それは洞察の可能性はある
 - ◇ (2) もし不連続性が再構成(問題表現における変化)を要求するなら,それは洞察問題の可能性はある(もし違えば,解は不連続性を要求するが,洞察ではない)
 - ◇ (3) もし再構成が唯一の解決方法なら,それは,ピュアな洞察問題である(もし,他の方法で解く事ができるなら,e.g., 試行錯誤など,ハイブリッド問題)
- 従来洞察問題として考えられていた24の問題に基準を適用
 - ◇ 4つが不連続的だが非洞察問題(e.g., アナグラム)
 - ◇ 5つがハイブリッド(e.g., 9点問題)
 - ◇ 15個がピュアな洞察問題(e.g., マッチ棒問題)
- 洞察が特別なプロセスであると支持する要因
 - 情報処理アプローチの失敗(Wertheimer, 1985)
(他の問題解決においては成功している(e.g., Anderson, 2000; Newell & Simon, 1972))
- 現在の洞察問題解決の理論から欠けていること
広い範囲の洞察問題を通して適応できる一般的な問題解決ヒューリスティックス
- 多くの変形問題(transformation problems)の解決の理解に用いられている「一般的ヒューリスティックス」(e.g., Newell & Simon, 1972; Lovett & Anderson, 1996)
 - 「ヒルクライム」や「手段目標分析」のようなヒューリスティックスはゴールに向かうように見える移動を選択
 - なぜこれらの一般的ヒューリスティックスが洞察問題に適用可能だと考えられないのか
多くの洞察問題のゴールは ill defined であり,現在の状態から良くわからないゴールへの前進の評価が不可能と思われる(VanLehn, 1989)
 - しかし,具体的で視覚的なゴールに対比させて移動を評価すると同様,各移動は「局所的な合理的基準」(前進が部分的または中間的ゴールを満足しているか)に対比させて移動を評価しているはず
 - Simon and Reed(1976)
 - ◇ 宣教師と囚人問題における3つの局所的なヒューリスティックスを切り替えていた
 - ◇ 初期の移動は川の両側に宣教師と囚人の数のバランスをとる
 - ◇ 中盤の移動は一方から他方への前進の最大化
 - ◇ 後半は前の状態に戻ることを回避
- 「ヒルクライムヒューリスティックス」
 - 古典的な9点問題の様々な変形における移動選択の基礎(MacGregor et al., 2001)

- 移動ポテンシャルを評価する
e.g., 9つのドットと線が4本残っていれば, 2.25個(9/4)のドットを次のステップで消す
- 洞察問題解決におけるヒルクライムヒューリスティックス
 - 正解のパスにある移動から, 選択された基準を満たす移動は離れているために失敗する
 - 9点問題: 基準を満たす移動が四角内に多数あるため, ドットが形作る四角にとどまり続ける
- ヒルクライムヒューリスティックスの緩和
 - 前進を満足する基準を満たす移動を生むための探索に失敗したとき(e.g., 基準を満たすすべての移動やその結果が使い尽くされたとき), 前進の最大化の要求が緩和
 - もし, 最大化でない移動が, 以前の試みよりもより前進する続く移動を与えるなら, 将来の志向に対して「見込みある状態(promising state)」として保持される
 - 9点問題において, しばしばドットの外に向かう試みをしている(MacGregor et al., 2001)
 - 「ヒルクライム」は, 制約(失敗の基礎にある移動の選択の)と刺激(最終的な成功を認めるだろう見込みのある移動の保持)の両方を提供する
- 「ヒルクライム」による説明
 - 唯一, knowledge-lean 問題(特定の領域におけるどのような熟達化も必要としない問題)を通しての一般化が可能
- この論文の流れ
 - (1) 実験1: 6コイン問題の紹介, 変形と洞察問題の両方の特性を持つように構成可能
 - (2) 実験2, 3: 問題があいまいなゴールからなるとき, ヒルクライムヒューリスティックスを実行するために必要なゴールの特性について調べる
 - (3) 実験4: 変形課題と洞察課題の間の直接的な比較においてヒルクライムアプローチからの予測を検証(6コイン問題 vs. 10コイン洞察問題)
 - 単一の解の概念の記憶(recording)の証拠として正確な移動系列の再生を検証
変形課題と洞察課題の間の共通のプロセスを示し, 洞察の特性についての更なる課題を提起

実験1

- 目的
2つの6コイン問題(リング条件, 抽象条件)における基礎的な分析(Fig. 1)
- 6コイン問題
 - 変形課題(transform task): 初期状態とゴール状態, 単一のオペレータ, 制約が明示的に定義されている(e.g., ハノイの塔)
 - 洞察課題ではない: アクセスできない移動への洞察は要求されず, 既知のオペレータのみで解決可能
 - 3回の移動で初期状態からゴールに変形する(移動の制約: (a)移動の間ほかのコインを動かさない, (b)2つのコインと接触するように移動しなければならない)
- 2つのゴール
 - リング解(Fig. 1左)
 - 2グループ解(Fig. 1右)
- 条件
 - リング条件
 - ◇ ゴール: リングゴールが与えられる
 - ◇ インパスの存在(Knoblich et al., 2001)
 - 抽象条件
 - ◇ ゴール: より抽象的に与えられる, 「各コインは他の2つのコインとのみ接続しなければ

ならない」

◇ 「リング」と「2つのグループ」の解がある

➤ 被験者

- 大学生 40 名
- リング条件 (20 人)
- 抽象条件 (20 人)

➤ 手続き

- 最大 10 分間, 必要なだけ試みることができた
- 各試行は, 初期状態から始めた
- 終了後, 抽象バージョンの被験者は, 問題解決中にゴール状態を想像したか, それがどの時点だったかを尋ねられた

➤ 結果

- リング条件
 - ◇ 発見: 6/19 (32%)
 - ◇ パフォーマンスはヒルクライムヒューリスティックスの仮説を支持
 - ◇ 最初の移動はリング上のコインを最大化する (チャンスと比較して)
 - ◇ 観察された正しい移動 (1 手目 ~ 3 手目) はヒルクライムによって予測されたものに一致
- 抽象条件
 - ◇ 74%の被験者がリングを想定
 - にもかかわらず, リング解は発見されなかった
 - ◇ リング解の発見の失敗: ゴールの確信度が低い (与えられなかったため)
 - ◇ 解の発見確率: チャンスレベル
 - ◇ リング仮説とヒルクライムにより分離する移動が阻害された?
実験 2 で検証

実験 2

➤ 仮説

リングの概念は潜在的にブロックを形成し, 2 グループ解がある問題空間の領域の探索を阻害する (リング仮説自体は正しい)

➤ 対立仮説

チャンクを分解することを避ける傾向があるのかもしれない (Knoblich, Ohlsson, Haider, & Rhenius, 1999)

方法

➤ 課題: 2 つの初期状態 (Fig. 2), リングゴールの知覚的サリアンスを操作

- 2 グループ解: 2 回の移動で可能
- リング解: 2 回の移動では不可能

➤ 被験者: 高校生 54 名 (部分リング条件 27 名, ストレート条件 27 名)

➤ 教示: 実験 1 の抽象条件と同様

➤ 時間: 3 分間 (終了後, 解法を書かせた)

➤ 予測

- 部分リング条件ではリング解を追求することに強く固執する
- 2 グループ解の正解数の予測: ストレート条件 > 部分リング条件

結果

- 正解者数
 - 部分リング条件：4人(15%)，チャンスレベル
 - ストレート条件：11人(41%)，チャンスレベル以上
予測を支持 ($\chi^2(1, N=54) = 4.52, p < .05$)
ストレート条件における被験者は，リング仮説から開放されていた
- 実験1における被験者は，リング解へのフォーカスによってコインを分離する移動を生成するのに失敗した，という仮説を支持する（実験1の原因を特定）
この固着は，問題空間の広範な探索（2グループ解を導く）を妨げる
リング解へのヒルクライムストラテジの追従から解決が困難となる
- 具体的で視覚的なゴールが無い状態では，ゴール状態についての仮説を作り，仮説化された特性が，移動を評価する

実験3

- 目的：ゴールの情報が与える影響を調べる
- 方法
- 被験者：大学生 42人
 - 課題：実験1と同様
 - 時間：10分間
 - 条件：
 - 共通の教示
 - ◇ コインは他の2つと接していなければならない
 - ◇ 2つの異なる解法がある
 - 条件1（抽象条件）：他の教示なし
 - 条件2（リング解条件）：リング解が提示された
 - 条件3（2グループ解条件）：2グループ解が提示された
 - 条件4（リング+2グループ解条件）：2つの解が提示された
 - 追加データ
 - 終了後，抽象条件の被験者には，問題を解いているときどんなゴールをイメージしたかを聞いた
 - 2グループ解を生成した抽象条件とリング条件の被験者に，180度回転した初期状態から解を再現するように求めた
 - リング解を発見しなかった被験者に解を示し，180度回転した初期状態から解を再現することを求めた

結果

- 2グループ解を発見した被験者数
 - 3(27%)，3(27%)，8(89%)，10(91%)：抽象，リング解，2グループ，リング+2グループ解
偏りが有意 ($\chi^2(3, N=42) = 16.84; p < .02$)
抽象，リング解 < 2グループ，リング+2グループ
- 抽象条件でリングゴールを想起していた
 - 抽象条件における被験者の多く（8人(73%)）が解はリング上であるという推測を行っていた
 - 1回目の移動後，リング上にあるコインの数は条件間で，4.55，4.50，3.89，4.18
抽象条件，リング条件 > 2グループ条件

- 2 グループ解への到達時間の分析
 - 平均時間：221s, 417s, 90s, 144s (抽象, リング, 2 グループ, リング + 2 グループ)
 - 2 × 2 の ANOVA (リング解の提示の有無 × 2 グループ解の提示の有無)
 - 両要因に主効果, 交互作用はなし
 - ✧ 2 グループ事例が有意に促進 $p < .01$
 - ✧ リング事例が有意に抑制 $p < .02$
- 2 グループ解の再生
 - 「抽象条件」「リング条件」で 2 グループ解を生成した 5 人の被験者は再生することができた
 - 5 つの再生された解の内 4 つは, オリジナルの解とは異なった移動系列を含んでいた
 - ✧ これらの解はおそらくチャンスによって生成され, すばやく解を「記憶」していた
 - ✧ 「記憶」は移動のシンプルなトレースではない (再生された多くは異なるパスを通る)
 - 被験者は解の一般的な配置を記録し, そしてそれに向かうようにパスを再構成する
- リング解の再生
 - リング解を発見できなかった 36 人の被験者にリング解を見せる
 - たった 7 人 (19%) だけが 1 分以内に再生できた
 - リング解に要求される移動系列を記憶することは難しい (ヒルクライムが邪魔をする?)
- 重要な発見
 - リング事例によって引き起こされるゴール概念へのヒルクライムの適用は, 正しい移動の選択を制限するが, 2 グループ事例によって引き起こされゴール概念は正しい移動を制限しない
 - リング事例を見た被験者は 2 グループ解の発見が遅くなる. 他の解法が存在するという知識を持っていたとしても, リングゴールにおける大きな粘りを示す.

実験 4

- 実験 1 ~ 3 の目的
 - 6 コイン問題の変形におけるパフォーマンスが, ヒルクライムヒューリスティックスの制御下にあるか?
 - 移動は, 既知のまたは仮説のゴールに向かうことに対して, ある基準への一致をもとに評価されるのか?
- 実験 4 の目的
 - 「ヒルクライムヒューリスティックス」が 10 コイン問題におけるパフォーマンスを規定するか否かを調べる (10 コイン問題は洞察問題であるといわれている)
- 10 コイン問題
 - 初期状態とゴール (Fig. 3)
 - ✧ 3 回の移動が許されている
 - ✧ 制約: 6 コイン問題と同様
 - 問題空間
 - ✧ 有効な移動系列: 81,147 (6 コイン問題では 7,426)
 - 解決において洞察が必要 (Metcalf, 1986; Schooler et al., 1993)
 - ✧ 3 角形を中心の 7 つのコインとその周りを回転する 3 つのコインに再構成
 - 試行錯誤かまたは他のプロセスで洞察なしに解決可能 (Weisberg (1996))
 - 被験者が概念化する 3 つのゴール
 - ✧ 三角形の頂点を底面に変換する
 - ✧ 底辺を保ち他の部分を動かす
 - ✧ コインの数が一番多い底面から 1 列目または 2 列目にコインを直接移動させる

方法

- 被験者：大学生 50 名（分析対象 48）
- 課題：6 コイン条件（実験 1 と同様）、10 コイン条件（Fig. 3）、被験者内（カウンターバランス）
- 10 コインの教示
 - 三角形の 3 つのコインを移動して下向きの三角形にしてください
 - ◇ 3 回の移動のみ
 - ◇ 1 回の移動で 1 個のコインを動かす（持ち上げない）
 - ◇ コインは他の 2 つと接触しなければいけない
- 時間：5 分 + 5 分
- 解に到達したら、それをもう一度再現するように教示された

結果

- 6 コイン問題は 10 コイン問題よりも難しい
 - 1 試行目で解けた人数：0(0%) < 9(19%)、Wilcoxon $z=2.65$, $p = .008$
 - 5 分以内に解けた人数：10(21%) < 36(75%)、Wilcoxon $z=2.67$, $p = .008$6 コイン問題の難しさは、ヒルクライムの存在を支持する（試行錯誤であれば、6 コイン問題の方が易くなる）
- 解の前駆体としての洞察に対する要求がなく、より小さい問題空間であっても、10 コイン問題よりも 6 コイン問題がかなり困難
- 最初の試行で生成される移動
 - 6 コイン問題
実験 1 ~ 3 の結果と同様
 - 10 コイン問題
 - ◇ 最初の移動が 3 つのゴールと一致したのは、13(31%), 11(26%), 5(12%)
トータルで 29(69%) がヒルクライムヒューリスティックスを使用
チャンス 7.33(17%) と比較し、有意に大きい ($\chi^2(1, N=42) = 77.61$, $p < .01$)
 - 10 コイン問題の洞察的解決
 - ◇ 洞察解の定義
3 つの角のコインを順番に、時計回りまたは反時計回りにシフトする移動系列
 - ◇ 成功試行の 34 回の内、8(24%) が回転パターンを示し、19(56%) がヒルクライムの適用
 - ◇ Weisberg(1996)：10 コイン問題はハイブリッド
Weisberg の説明を支持する結果
 - 解の再現性
 - ◇ 6 コイン問題：解決した 10 人のうち、たった 2 人(20%)
 - ◇ 10 コイン問題：解決した 36 人のうち、35 人(97%)
 - ◇ 両問題の間にある大きな違いのは再現性にある（洞察の新たな定義）
単一で実行可能な「概念」が否かによって違いが現れる。
- 解の再現性に対する支持（実験 3 の再生データから）
 - 2 グループ解の提示が無い場合でも、2 グループ解を発見した被験者は、180 度回転した初期状態からでも再生することができた
 - 異なる移動系列を用いて解を生成しており、解の系列的エンコードではなく概念的なものであることを示唆していた
 - 対照的に、リング解を見せられた被験者は、全く同じ初期状態から解を生成することができな

かった

まとめ

- 洞察問題の性質や、提案した基準の定義についての有用性についての多くの問題を提起した (Tab. 1)
- 「ステップファンクション」
 - ◇ 移動確率からステップファンクションを持つかがわかる
 - ◇ 6 コインリング問題におけるヒルクライムによる3つの移動の確率 (.10, .33, 1.00) は、正しい1回目と2回目の組み合わせは.03と低い、3回目の移動は1.00に跳ね上がる
ステップファンクションのコンポーネントを示唆 (飛躍的な発見)
 - ◇ 6 コイン問題の抽象バージョンと、10 コイン問題はこのパターンを示さない
 - ◇ ステップファンクション基準のみを用いると、6 コインリング問題だけが洞察問題
- 「不連続性」
 - ◇ 6 コインリング解：移動において変化を要求するようには見られない
 - ◇ 6 コイン2グループ解：明確な不連続性を示した (リング仮説を放棄するように考え直す)
 - ◇ 10 コイン問題：複合した事例、多くは不連続性を示さず、少数が示した
- 「再構成」
 - ◇ 6 コインリング問題：洞察問題ではない
 - ◇ 「潜在性」と「現実」の齟齬
例：6 コイン抽象条件では、リング仮説を想起しているが、2グループ解の発見は確率的 (再構成の結果ではない)
概念の再構成のみを基礎に一般的な定義は行えない
- 「解の記憶 (Solution recording)」
 - ◇ 洞察に対する本研究における説明と伝統的なゲシュタルトの説明の間の重要な違いは、新しい概念的の発生が解の「前駆体」として必要ではないということである
 - ◇ 洞察の原理は、解の発見の「生成」であり、更なる移動に対する探索なしに、解の特徴の表現を可能にする
- 本研究の意義
 - 「解の記憶仮説」はこれからの課題を含んでいる
 - しかし、実験結果から、洞察問題がプロセスや現象を単純に基礎にして他の問題から区別されるという見方を批判した
 - 「解の記憶仮説」の意味は、洞察の異なる定義間をさらに区分けすることに勝る
 - 洞察問題解決における解の発見のプロセスに対する我々の見解は、洞察と形式的問題解決の間の結合を示している。洞察が、単一のアーキテクチャ、例えば Soar (Newell, 1991) と ACT (Anderson, 1993) の間にあるという考えを示唆する。
 - 解の発見のプロセスと解の記憶の間の区別は、特定の皮質に創造的問題解決が関与しているという神経心理学の知見を含意する (e.g., Carlsson, Wendt, & Risberg, 2000)。
 - さらに、「解の記憶仮説」は、創造的または洞察にあふれた思考の転移やトレーニングに関する疑問の解決を助けるだろう (e.g., Sternberg & Bhana, 1996; Davidson, 1995)
 - 「ボックスの外」と考えるような一般的な教示に依存するよりもむしろ、記録 (recording)、記憶 (remembering)、そして再利用 (reusing) を促すことが有意義である