

D2 二宮

Huang, F., Zhao, Q., Zhou, Z., & Luo, J. (2019). People got lost in solving a set of similar problems. *NeuroImage*, 186, 192-199.

- ✓ 記憶は人間の過去, 現在, 未来をつなぎ, 事前に得た知識は現在のパフォーマンスと未来のパフォーマンスに影響を与える
 - 肯定的な点…以前に取得した知識は, 過去に成功した可能な解決策を効率的に適用させ, パフォーマンスを向上させる
 - 否定的な点…事前知識はまた心的構えはパフォーマンスに害を与える可能性がある (Bilalic et al., 2010; Schultz and Searleman, 2002; Wiley, 1998).
- ✓ 心的構え (Einstellung effect) は類似した状況での過去の経験が引き金となり, 既知の解が頭に浮かぶと他の案の検討を妨げる現象 (Bilalic et al., 2008, 2010; Bilalić and Mcleod, 2014; Ellis and Reingold, 2014; Hagger et al., 2013; Neroni et al., 2017; Sheridan and Reingold, 2013)
 - ルーキンスは水がめ課題を用いて, 練習問題(A-B-2C)と2解課題(A-B-2C, C-A)の間の類似性が, なじみ深い解(A-B-2C)を想起させ, より良い解に対して盲目になることを示した.

➤

メンタルセットと専門知識

- ✓ メンタルセットは, ある領域の専門知識によっても誘発される (Ricks et al., 2007; Wiley, 1998).
 - チェスのプレイヤーに2つの解法がある問題, すなわち, 5手かかるなじみ深い解法(次善解)と3手かかった馴染みのない解法(最適解)が与えられた場合, ほとんどのプレイヤーは, 最適解ではない解法を選び, 短い方の解法に気づかなかった (Bilalic et al., 2008)
 - 参加者の眼球運動は, プレイヤーが既知の長い解法に関連するターゲット領域に素早く固着し, 短い解法に関連する領域よりも, 見ている時間が長いことが実証されている (Bilalic et al., 2008, 2010; Sheridan and Reingold, 2013)

☆既知の解に関連する情報への注意の偏りを修正し, 代替解を探すのは難しい

- ✓ 既知の解で問題解決が行えないような状況下でも, 他の解の発見を阻害するのだろうか?
 - 「既知の解がうまくいかない」と認識したときに, 既知の解にとって重要な領域の固視時間が急激に低下するのではなく, 問題解決の初期には固着を続ける (Bilalic et al., 2008, 2010; Sheridan and Reingold, 2013)

☆有効ではない既知の解が, 他の解の処理に干渉し続けている可能性がある。

- ✓ 同様の現象は, 洞察問題解決においても起こる
 - 洞察問題解決では, 以前に獲得した知識や経験の「助け」を借りて, 問題解決者は常に行き詰まり(インパス)に到達する.
 - 表象的変化理論は, 洞察が問題の制約を緩和し, チャンク化された項目を分解することによって起こると説明する (Ollinger et al., 2008; Ohlsson, 1992)
- ✓ 洞察の成功率が非常に低いのかについて理由を実証的に指摘した研究はない.
 - 既知の解法の失敗に気づいた後に間違いを修正することができず, 既知の解法でありながら現

在は無効な解法が代替的な解法を継続的に妨害している可能性がある。

本研究の目的

- ✓ 過去の問題と似ているが既知の解法では解けない問題に直面したときの脳内イメージを検討することでこの問題について検討する。

チャンク分解タスク

- ✓ チャンク分解とは、あるパターンをその構成要素に分解して、別の意味で再構築すること
 - 簡易なチャンク分解(LCD)…数字 "VI" を "V" と "I" に分解すること
 - 難易なチャンク分解(TCD)…"X" を "/" と "\" に分解すること
- ✓ 事前の知識によって、LCD が想起されやすいが、洞察問題を解く上では、TCD が重要(Huang et al., 2015; Knoblich et al., 1999; Wu et al., 2013)

⇒現在は使用できないが既知の解(LCD 解)が、TCD 解にどのように干渉するかを検討することで洞察が難しい理由を説明出来る

実験課題(figure1 を参照)

- ✓ 課題は、漢字を分解して他の熟語を作成する課題
 - 練習課題 … LCD 解を用いて解ける課題
 - テスト課題 … 練習課題に類似しているが TCD 解でしか解けない課題
- ✓ 課題の組み合わせ
 - ベースセット条件 … 練習課題とテスト課題を交互に行う
 - 強化セット条件 … 3~5 回練習課題を行ったあとテスト課題を行った。
- ✓ 既知の有効ではない LCD 解の存在が、TCD 解について探索の労力と処理要求(processing demands)をどのように阻害するかを検討するために、各試行を 2 つの段階に分けた。
 - 探索段階…問題を 2.5 秒だけ提示して自由に解を探索する段階
 - *自由に探索させたときにどのような認知処理をしているかを検討するため
 - 検証段階…解を 3 秒間提示する段階。参加者は与えられた解法を操作して問題を正常に解くことができるかどうか回答した
 - *他の解に対する処理を行う時にどのような認知処理をしているかを検討するため
- ✓ 検討する内容
 - テスト課題の神経相関と練習課題の神経相関を比較
 - ⇒TCD 解がどのように探索・操作されていたかを検討する。
 - 強化セット条件とベースセット条件の間の神経相関を比較
 - ⇒既知だが有効ではない LCD 解が、TCD 解法とどのように干渉するかを検討する。
 - *セットを強化したほうが、LCD による干渉が強くなるので、ベースとの差分から、どのような干渉が起きているのかを議論しようとしています

D2 二宮

- ✓ 人々は既知の解法が問題を解決できないと信じることに慎重になり、既知だが有効ではない解法は、他の解法に対する探索傾向を低下させ、他の解法に関連した処理をするための労力を、それが有効でないとわかった後も増加させる
 - テスト課題は、検証段階において、練習問題よりも葛藤検出・解決関連する脳領域での活性化が大きくなるだろう
 - *探索段階では、有効でないということに気づかないので、葛藤は起こらないが、検証段階では、既知の解決策を抑制しながら、他の解決策を検討する必要があるため葛藤が起こるという予測です

方法

- ✓ 参加者 北京理工大学から募集した 26 名の学部生および大学院生（女性 12 名、男性 14 名、20~26 歳、平均年齢=23.15 歳、全員中国語を母国語とする
- ✓ 材料と手順

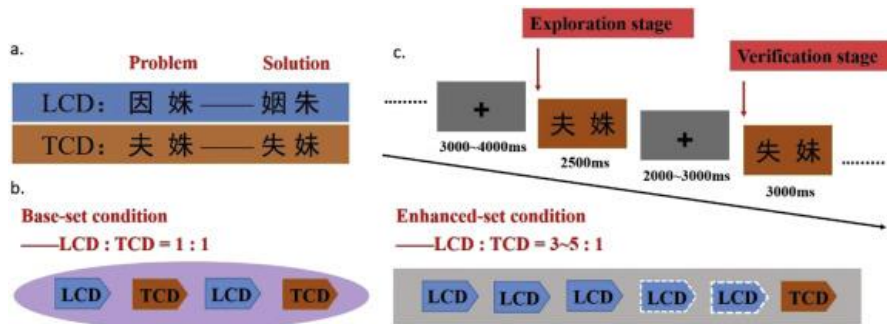


Fig. 1. a. The character decomposition task in the loose and tight levels is illustrated. b. A schematic diagram illustrates the time course of a trial during MRI scanning. c. The presentation sequence of the practice problems and the test problems in the base-set and enhanced-set conditions is displayed.

- ✓ 本研究では、ベースセット条件と強化セット条件の 2 つの条件を設定した。
 - ベースセット条件では、練習問題が 30 問、テスト問題が 30 問
 - 強化セット条件では、練習問題が 120 問、テスト問題が 30 問あり、テスト問題の前に 3~5 問の練習問題を繰り返し強化した (図 1b 参照).

画像解析

- ✓ 第 1 レベルの解析では、2 つの一般線形モデルをベースセット条件と強化セット条件について別々に推定した。
 - 第 1 モデルでは、練習問題の探索段階と検証段階、テスト問題の探索段階と検証段階の 4 つのキーイベントを定義した
 - 第 2 モデルでは、練習課題の順序 1, 順序 2, 順序 3, 順序 4, 順序 5 における練習問題の探索段階と検証段階、およびテスト問題の探索段階と検証段階の 12 個のキーイベントを定義した。
- ✓ 既知だが有効でない LCD 解の、TCD 解に対する干渉の効果を検証するために、関心領域 (ROI) 分析に関連する活性を抽出し、強化セット条件とベースセット条件の間で比較した。

利用した ROI

クネウス	初期視覚に関連した領域
中後頭回 (MOG)	高次視覚に関連した領域
背側前帯状皮質 (dACC)	エラー検出や葛藤モニタリングに関連した脳領域
上頭頂葉 (SPL)	
左下前頭回, 右下前頭回 (IFG_L, IFG_R)	実行制御機能に関連した領域

☆それぞれの領域における, 探索段階と検証段階のそれぞれの信号変化について, Set の効果(ベース vs 強化)と Problem(練習課題 vs テスト課題)の 2×2 で検討した

結果

✓ 行動指標

- 参加者は, 両条件において, テスト問題の方が練習問題よりも多くの時間を費やした
- 練習課題についてはベースセット条件の方が強化セット条件よりも時間を費やしていた.
- テスト課題の反応時間は, ベースセット条件と強化セット条件の間で差はなかった

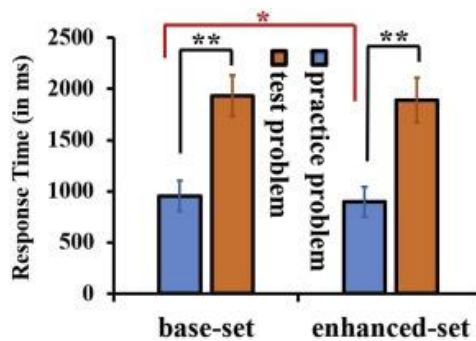


Fig. 2. Behavioral results. The panel shows the mean reaction times (RTs) for the practice problem and the test problem in both the base-set and enhanced-set conditions. Error bars represent the 95% confidence interval. The asterisks indicate significant differences between the two conditions (* $p < 0.05$, ** $p < 0.001$).

脳内イメージング結果

- ✓ 既知でない TCD 解法が初期段階でどのように探索され, 後期段階でどのように操作されたかを明らかにするために, 練習課題とテスト課題の神経活動の違いを比較した.
 - ベースセット条件と強化セット条件の両方の探索段階では, 両側前頭前皮質(PMC), 後腹回(PG), IFG, SPL で神経活動の増加が確認された($p < 0.05$, FWE 補正済み).
 - ベースセット条件と強化セット条件の両方の検証段階では, 両側の MOG, PMC, IFG, SPL, 下頭頂葉 (IPL), 右中間側頭回 (MTG) と背側前帯状皮質 (dACC) で神経活動の増加が確認された ($p < 0.05$, FWE 補正済み)

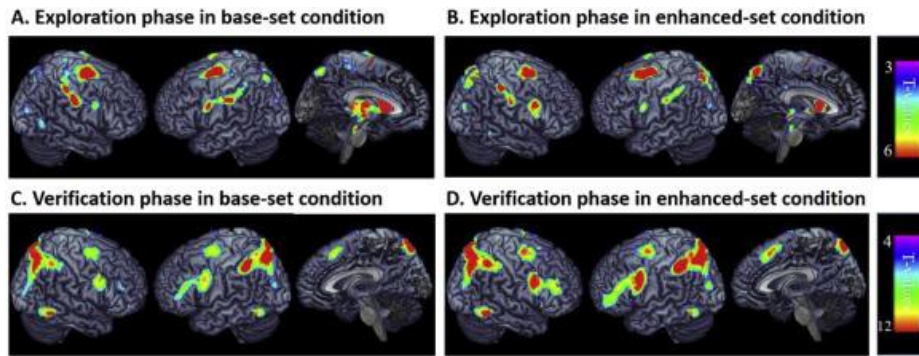


Fig. 3. Imaging results. Brain images showing the activations in the test and practice problems contrasted between the exploration and verification stages in both the base-set and enhanced-set conditions.

- ✓ 既知だが有効ではない LCD 解が TCD 解の処理にどのように干渉するかをさらに調べるために、関連脳領域の活性化を強化セット条件とベースセット条件間で、段階ごとに比較した。
 - 探索段階では、ベースセット条件よりも強化セット条件の方が、クネウスの非活性化、MOG と左 IFG の活性化が低いことがわかった。
 - *セットの強化によって、探索が自動化された結果を反映したものです
 - 検証段階では、テスト問題に関連した SPL, 左右 IFG, dACC の活性がベースセット時よりも強化セット時の方が高くなっていました
 - *セット強化により、検証段階において、LCD による干渉が強くなったことを反映するものです

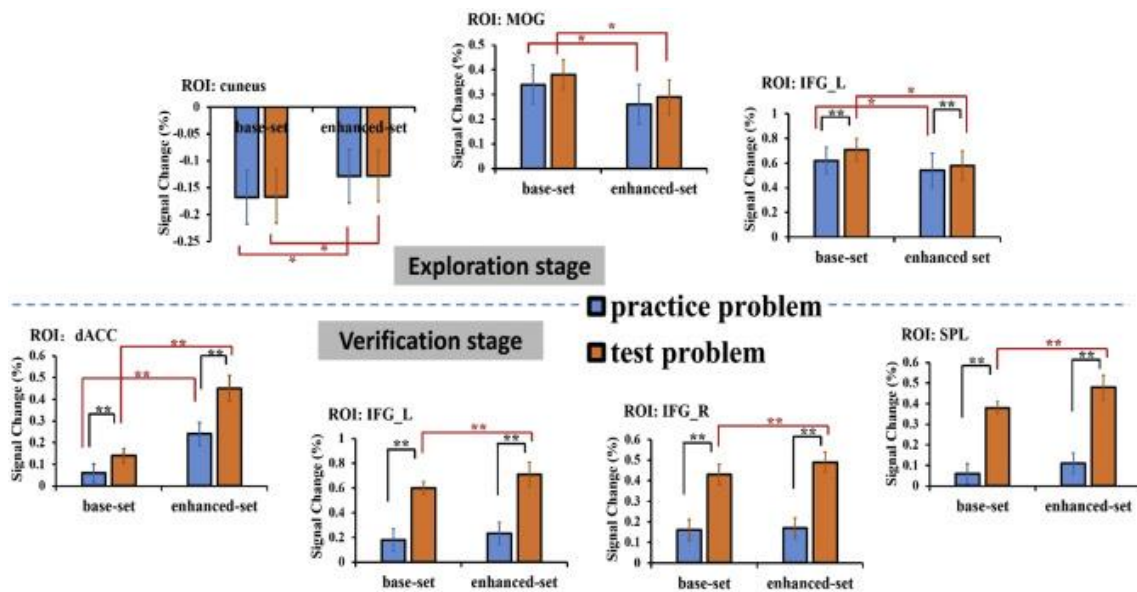


Fig. 4. ROI results. The percent signal changes within the ROIs in both the early exploration stage and latter verification stage of the chunk decomposition task across the base-set condition and the enhanced-set condition. L, left; and R, right. The error bars represent the 95% confidence intervals. The asterisks indicate significant differences between conditions (* $p < 0.05$, ** $p < 0.001$).

Discussion

研究の目的 … 人が既知の解法では解けない問題に直面したときに脳内で何が起こるのか、特に、既知だが現在は有効ではない解が他の解の処理をどのように阻害するのかを明らかにすること

実験の結果 … 既知の有効ではない解法を抑制する能力が低下し、探索に要する労力が低下し、他の

解に関連した処理要求が増加することが示された(Figure4の結果から).

馴染みがあるが現在は無効な解は、馴染みのない解とどのように干渉するのか？

探索の変化について

- ✓ 両条件の探索段階では、テスト課題では練習課題よりも両側の IFG, SPL, PMC の活性化していた
 - 実行制御に関連する IFG は、制御や注意に関連する機能領域と重複することが知られている (Dodds et al., 2011; Kim, 2017)

⇒LCD から TCD への注意の方向付けと、チャンク分解及び再構築のために実行制御が関連

- ✓ 知覚チャンク分解に関連する 2 つの重要な視覚領域であるクネウスや MOG では違いは見られなかった
 - これまでの研究で TCD 解は LCD 解に比べて、これらの領域における活性化することが知られている (Huang et al., 2015; Tang et al., 2016)

⇒(TDC を発見していたら、活性化するはずなので)探索段階では TCD 解をうまく発見できていないことを示唆

☆一度問題解決者の注意が高い身近な解に偏ってしまうと、問題を解決できないにもかかわらず、代替解に注意を移すことが困難になることを示唆.

干渉の効果について

- ✓ TCD 解法を用いて解けるテスト課題は、LCD 解法を用いて解ける練習問題よりも、両条件の後半の検証段階において、クヌリスの非活性化と両側 IFG, MOG, PMC, SPL の活性化がみられた.

➤ クヌリスは初期視覚構造であり、基本的な視覚処理に関与

⇒その不活性化は、自動的に形成された視覚パターンを再解釈する必要があり、高次視覚野が初期の視覚処理から「切り離された」状態になることに関係している

➤ 高次視覚野 (MOG) は、自動的に形成された空間表現を操作し、再構築する役割を果たしている可能性が高い (Luo et al., 2006; Wu et al., 2013; Huang et al., 2015)

⇒LCD 解と比較して、TCD 解では、自動的に形成されるチャンクのより大きな抑制と、知覚チャンクのより大きな分解および、より大きな再配置を要する

☆IFG, PMC, SPL(実行機能関連)と同様にこれらの視覚野における大きな信号変化は、チャンク分解に対する処理要求の条件間の違いを反映している可能性が高い

- ✓ 両条件において、練習問題よりテスト問題で dACC の活性化が大きくなっていた.
 - 探索条件ではこのような差異は見られなかった.
 - ACC はエラー検出や葛藤モニタリングに重要な脳領域 (Ebitz et al., 2015; Heilbronner and Hayden, 2016; Shenhav et al., 2013)
 - 洞察問題解決時の不適切な古い解と適切な新しい解の間の認知的葛藤の検出に関与 (Mai et al., 2004; Qiu et al., 2006; Wu et al., 2013; Zhao et al., 2013)

D2 二宮

⇒自由探索の場合(探索段階)では、LCDとの間の葛藤を検出しておらず、検証段階においてLCDとTCDの間の葛藤を経験していることを示唆

☆問題解決者は、既知だが有効ではない解を拒絶する動機を欠いており、その結果、他の解との注意の葛藤が生じている可能性

⇒この発見は、人々が既知の現在は無効な解に固執し、代替解を見つける能力を失った理由を説明する

✓ ベースセット条件と比較して、強化セット条件の練習問題では、探索段階でのクヌリス、MOG、L_IFGの活性化が少なかった

⇒これは繰り返し強化され、自動化されたため、解法を探索するために費やす労力が少なくなったことを示唆

✓ 強化セット条件のテスト課題でも、ベースセット条件よりもクヌリス、MOG、IFGの活性化が少なかった。

⇒これは強化セット条件の参加者がテスト課題を練習課題として扱っていたと思われる

☆既知の解法を繰り返し強化すると、強化された解では現在の問題を解くことができないにもかかわらず、代替解を探ろうとする意欲が減退した

*探索に労力をかけなくなったことから、このような主張をしている

✓ 検証段階では、強化セット条件の方がベースセット条件よりもdACCとIFGの活性化が高くなっていた

➤ ACCは反応制御に関与する領域として、LCD解とTCD解との間の競合を監視する役割を果たしている可能性が高い。

➤ IFGはワーキングメモリによりな制御に関連する領域として、LCD解からの干渉の解決のために活性化している可能性が高い。

⇒構えが強化された状態では、問題解決者は、既知の有効ではないLCD解とTCD解との間の競合を解決するために、より多くの実行制御を利用しなければならないことを示唆

まとめ

☆問題状況の中で、有効な解決策をすぐに思いついてしまうと、身近な解決策にすぐに注意が向く状態になっていた

☆既知の解が現在の問題を解決できなかったとしても、問題解決者はそれを抑制できず、他の解との競合が生じていた

☆既知の解答の強化は、探索に要する努力を低下させ、他の解に関連した処理の労力を増加させた

4.2. なぜ、馴染み深い無効な解答が、他の解と干渉するのか？

✓ 私たちの脳は、最小の認知的不可でタスクを達成しようとする費用対効果の高い構造である(Kovács and Schweinberger, 2016; Renoult et al., 2016)

D2 二宮

- 以前の知識や経験によって獲得した、馴染み深い解の利用は比較的低い認知負荷につながる (Huang et al., 2015, 2018)
 - ✓ 一度既知の解決策が最初に頭に浮かび、注目の中心になると、既知の解決策が問題を解決できないにもかかわらず、代替的な解決策に注意をそらすことは容易ではない (Bilalić and Mcleod, 2014; Bilalic et al., 2008, 2010)
- ⇒探索段階において、練習課題とテスト課題の間にエラー検出関連領域(ACC)の活性化の差異が見られなかったことから、既知の解法が問題を解決できないと考えていなかったために、このような難しさが生じるのではないか？

既知の現在は無効な解法は、他の解法とどこで干渉するのか？

- ✓ 見慣れているが現在は無効な解法が他の解の検証に干渉するという結果は、創造性や洞察の成功率の低さを説明する
 - 以前の知識や経験に基づく解が想起されると、その袋小路に陥ってしまい、他の解を探索する欲求を低下させる *探索段階についての結果から
 - 袋小路を打破するためには、従来手法を抑制し、新たな方略を探索するために労力をかける必要がある *検証段階における結果から

洞察問題解決のプロセスの神経基盤について

- ✓ 前頭前野(PFC)と前帯状皮質(ACC)の活性化の増加に関連する認知制御は、洞察解決に関連するといわれてきた(Dietrich and Kanso, 2010; Kounios and Beeman, 2013; Shen et al., 2016; Sprugnoli et al., 2017).
 - ACCは競合検出とモニタリングのための重要な脳領域と考えられており、問題解決者が従来の方略の失敗に気付いたときや、新しい方略が従来の方略と衝突したときに活性化される(Luo and Niki, 2003; Luo et al., 2004; Mai et al., 2004; Wu et al., 2013; Zhao et al., 2013).
 - 前頭前野(PFC)は抑制過程を媒介する上で重要な役割を果たしていると考えられており、この領域の活性化は不適切な反応を防ぎ、適切な反応を選択することと関連している(Luo and Niki, 2003; Luo et al., 2004; Zhao et al., 2013)

☆問題解決のためには、他の新しい方略に関連する情報を再活性化し、既知の方略に関連する情報を抑制することに加えて、既知だが有効ではない方略と、既知ではない新規方略との間の競合を解決するために、前頭前野が介在している実行制御機能を使用する必要があることが分かった

*検証段階で、実行系関連機能が活性化していたため

結論

脳内イメージの結果から、既知の解が新しい他の解に与える影響について、以下のことを示した。

人々は、身近にあるが現在は無効な解決策の誤りを見極めることが出来なかった
既知の有効でない解決策は、他の解決策を検証する段階でも、注意を集めていた。
それに伴い、他の解決策を探索するために使用する労力が減少した
そして、他の解を検証するための処理要求が増加した。