2018/05/08
M2　二宮

Eye movements reveal solution knowledge prior to insight.
Elis, J. J., Glaholt, M. G., & Reingold, E. M.
Consciousness and Cognition, 20, 2011, 768-776.

1. Introduction

洞察(insight)…問題の解決策が，突然，予期せず思いつく「Aha!」の主観的な経験.

洞察問題…最初に思いついた解決策が失敗し，解決者は予期せず難局を克服し，解決策が突然思いつくといった，解決への非連続的な進み方のパターン
反例)代数や論理

- 洞察問題では解決に向けての知識は蓄積的に得られない(Metcalfe, 1986; Metcalfe & Wiebe, 1987)

FOW(feeling of warmth)…問題の解決にどの程度近づいているかを評価
非洞察問題…解決に向けてだんだん増加していく
洞察問題…課題中はほとんど増加せず，解決の直前に突然増加(アナグラム課題等)

⇔主観的なメタ認知的な判断についての評価は，解決に向けたすべて情報にアクセスできるわけではない

cf. 洞察が起こっていない時にも,問題解決者は解決策の部分的な知識を持っていることを示唆(Bowers, Regehr, Balthazard, & Parker, 1990)

- 主観的報告の限界から，洞察問題解決における解決前に知識を利用しているかを検討する代替的な方法が検討されている
  - アナグラム推測課題…参加者に文字列を提示し,単語を作成することが可能かどうかを尋ねる．アナグラムの提示時間は操作されており，参加者はアナグラムが見えなくなるとすぐに回答することを求められた
  - より長い提示時間がアナグラム課題のパフォーマンスに影響すれば，洞察問題解決における解決への知識は蓄積的に得られているといえる

⇒一貫した成果が得られていない

⇒このアナグラム課題では，参加者はアナグラムを解く必要がなく，先行研究のアナグラム課題とは問題解決のプロセスが異なると考えられ，比較することが出来ない.

- 問題解決の研究，特に洞察問題解決における眼球運動を用いた方法論の有用性を実証する研究が増えている（例えば,Grant & Spivey, 2003; Jones,2003; Knoblich,Ohlsson, & Raney,2001; Knoblich,Öllinger & Spivey,2005; Thomas & Lleras,2009)。

- 本研究は,眼球運動測定を用い,アナグラム課題における解けるまでの時間経過と解へ至る知識の性質（不連続 vs 漸進的な知識の蓄積）を検討する
- 加えて，オンラインデータの指標とするために，視覚的なベースラインを加えた(Fig.1)
  - それぞれの試行で参加者に 5 つの文字(子音 4，母音 1)が提示された.
  - 参加者には 5 つのうち 1 つはディストラクターであり, 4 つの文字を使用して単語をつくるように求めた.

  ⇒解決に必要な文字への注視時間と，不要な文字(ディストラクター)への注視時間を比べることで，解の知識のオンラインの予測子として使用可能(不要な文字への注視時間がだんだんと減っていけば漸進的に開放へ近づいていることになる)

  ⇒ベースラインの使用により，解決に向けた知識の時間的変化を見ることが出来る

- アナグラム課題において必ずしも洞察的経験を伴わないという Novick & Sherman (2003)の研究を受け，洞察的経験をしたかの主観的報告を行う群を作成した.

  ⇒主観的な報告による課題への干渉を避けるために，主観報告なし(1a)，主観報告あり(1b)の 2 つの群を作成した

目的のまとめ

- 洞察問題解決が非連続的な解決過程をとるならば，ディストラクターへの注視時間は解答の直前で急激に変化するだろう
- 洞察問題解決が知識の蓄積による漸進的に解法に近づくならば，ディストラクターへの注視時間は緩やかにだんだんと少なくなっていくだろう

2. Methods

参加者　大学生 32 名　流暢な英語話者

装置

- SR Research EyeLink 1000 を使用.
- 画面は 19 インチ，リフレッシュレート 75Hz
- 参加者は画面から 60 ㎝離れ，あご台で顔を固定，キャリブレーションによる眼球位置エラーは 0.5° 以下

材料

- 5 つの文字を使用したアナグラム課題
- 4 つの文字は解答に必要な単語であり，1 つは不要な単語であった。
- 答えの単語は子音で始まり，子音で終わるようになっていた
- 母音は 2 番目(問題の 67%)か 3 番目(33%)に入った。
- どの問題も 1 つの単語しか作れないようになっていた。
- 解答語は Francis ＆ Kucera(1982)の単語リストから選択され，10～478/million(M = 86、SD = 113)の頻度であった。
- ディストラクターを入れることによるバイアスを避けるため，Mayzner & Tresselt (1965)に基づき，解決後の最初の文字と頻度をそろえた

⇒すべてのアナグラム課題における，文字の初期位置の頻度の平均にも差はなかった (distractor consonant M = 218, SD = 105, first solution consonant M = 213, SD = 104, $t < 1$).

- また，試行のはじめにディストラクター文字をどの程度見るかを解答に必要な文字(解答文字)と比較した.

⇒どの単語も変わらなかった

- 各アナグラム課題は 5 つの文字(25 ピクセル)を均等に間隔(450 ピクセル)を置いた. 文字の物理的な提示位置はいつも一定
- 2 文字以上が時計回りか反時計回りで正しい順序で並んでいないという制約をかけた．また文字順序(配置)はすべての参加者で一定であった。

(実験 1a，1b の違いは 1b において，主観報告を追加したのみで，すべての手順が同一)

手続き

- 参加者は 10 回の練習試行と 60 回の本試行を行った
- アナグラムの提示順序はランダム化されていた。
- 注視点を 1000ms 後課題の画面が表示
- 解答が行われるまで課題は表示
- 解答の速さが重要であると教示した.加えて，間違った回答を出す可能性があっても，回答の前に確認しないよう指示。
- 参加者は応答するためには中心の注視点に視線を向け，反応パットのボタンを押す必要があった
- ボタンを押すと刺激の文字は消えた。
- 参加者は，回答を口頭で伝え，正しいかどうかのフィードバックを受けた
- ボタンを押して次の試行に進んだ

➢ 実験 1b では各施行後アナグラム課題の以下の項目を使っての主観評価を求めた

1「解決策は突然現れた。私は答えを得るために何をしたかに気づかなかった。」

2「アナグラムを解決するために様々な文字の配置を試したが、どれもうまくいかなかった。そして、解決策が突然心に浮かんだ。」

3「アナグラムを解決するために様々な文字の配置を試した。私はそれぞれの配置を、段階的に解決策を試すことができた」

4「私はアナグラムを解決できなかった」

- 各施行でラベル付けをし，1，2 は洞察的な体験を伴ったとして「ポップアウト」，3 は「非ポップアウト」と名付けた.

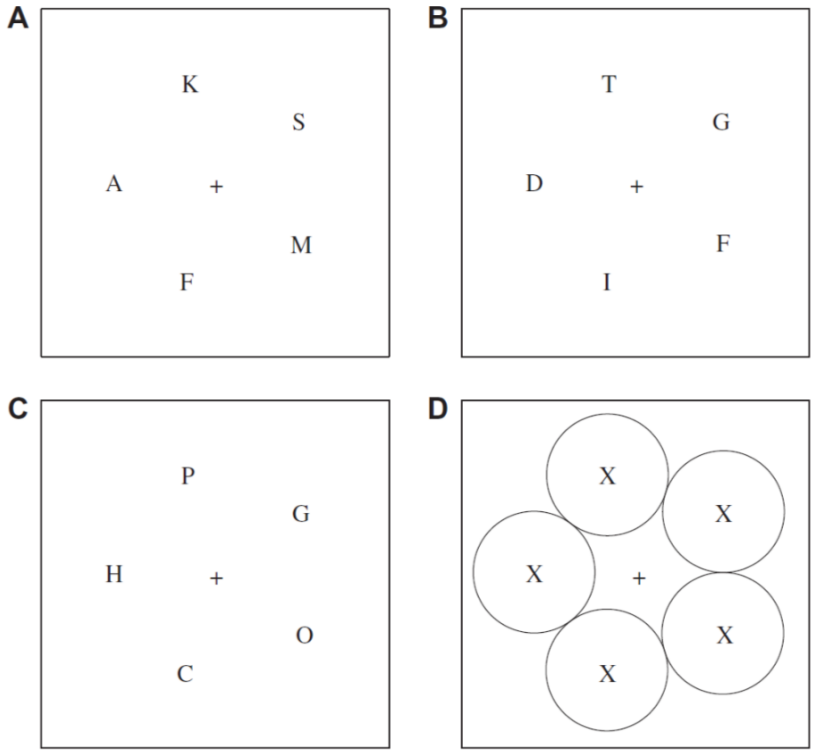

Fig. 1. Stimulus displays of example anagram problems (Panels A–C) and illustration of the circular letter areas within which fixations were assigned to the central stimulus letters, shown here as Xs (Panel D). Solutions to anagram problems are MASK (Panel A), GIFT (Panel B), and CHOP (Panel C).

3. Result

- パフォーマンスを評価としてすべての試行の反応時間と，回答の正確さを評価した.
  - 正答したもののみを眼球運動の分析の対象とした.
  - 眼球運動の分析にあたって，問題が提示されてから，解答を生成するまでの間の固視(fixations)を分析した。

- 文字を中心とした 225 ピクセルの円の中に入ったときに，その文字を見ていることとした(Fig.1 を参考).
  - 実験におけるすべての参加者の固視のうち 70.3%がどれかの刺激に割り当てられた.
  - 固視の割合と反応時間の間の相関がそれぞれの参加者について計算され，その平均は.964 であった
  - ここでは停留は，1 つの文字の範囲内の連続的な固視として定義する.
  - ほとんどの停留は単一の固視(70.0%)または 2 つの固視(25.5%)で構成された.

- 実験 1a1b の比較
  - ✧ 主観的な報告によって課題の質を変えていないために実験 1a1b の間の眼球運動と反応時間を比較した
    - 応答時間（実験 a = 10.5 秒、実験 1b = 10.9 秒）
    - 滞留数（実験 1a = 20.5、実験 1b = 19.7）
    - 停留時間（Exp1a = 285ms、実験 1b = 296ms）

    の実験との間に有意差はなかった

    ⇒主観報告によってアナグラム課題の達成に影響を与えなかった
    - 正答率についても同様（正確 : 実験 1a = 81.2%、実験 1b = 81.8%、実験 1a = 3.3%、経験 1b = 3.9%　1a = 15.5%、1b = 14.3%、すべて ts <1）

- ポップアウト-非ポップアウト間の比較(Fig.2)
  - ✧ 次に実験 1b では主観的に洞察が経験された試行(ポップアウト試行 69.6%)とそうでない試行(非ポップアウト試行 30.4%)の間で比較した.

    ポップアウト試行と比べて非ポップアウト試行では
    - 反応時間（popout = 8.6 s, non-popout = 20.4 s, $t(29) = 7.02$, $p < .001$）
    - 試行ごとの停留数（popout = 15.7, non-popout = 36.8, $t(29) = 6.54$, $p < .001$）
    - 停留期間(popout = 287 ms, non-popout = 328 ms, $t(29) = 5.45$, $p < .001$)

    ⇒主観的な洞察の有無，によって客観的な指標に差異が見られた

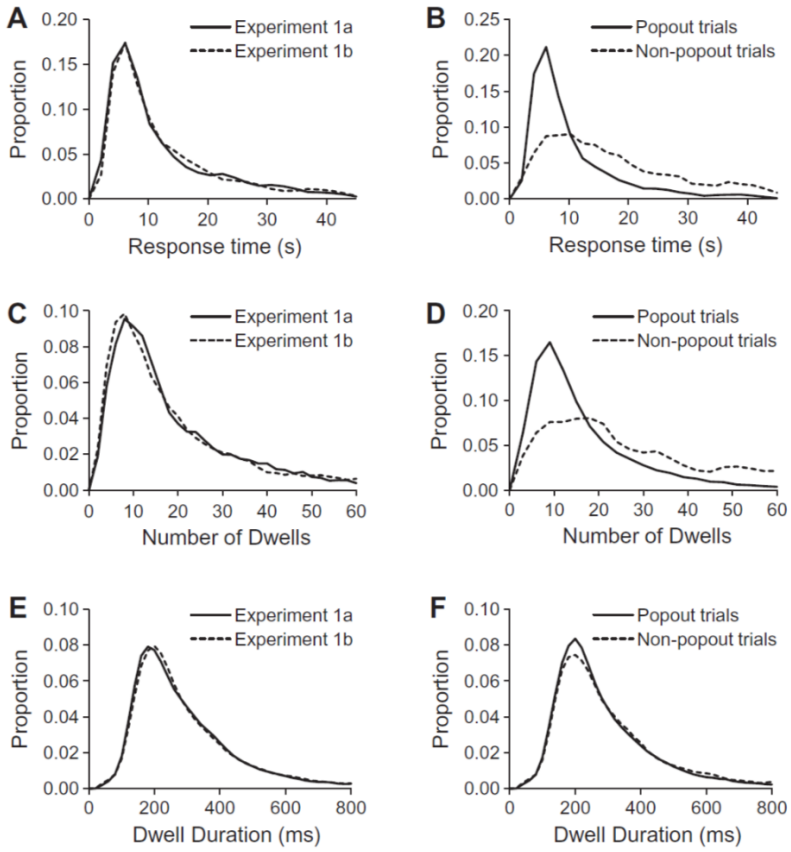

Fig. 2. Histograms of response times (Panels A and B), number of dwells (Panels C and D), and dwell durations (Panels E and F), comparing all correct trials in Experiment 1a vs. 1b (Panels A, C, and E) and popout trials vs. non-popout trials from Experiment 1b (Panels B, D, and F).

➢　眼球運動の変化(Fig.3)

- この実験において重要な点は，思考のはじめと終わりの眼球運動の変化にある。

予測…施行開始時にはディストラクターと解答に使用される文字の間の注視時間ほとんど変わらないが，解答間近ではディストラクターの注視時間は減る

⇒8 回以上の停留が観察された参加者を用い，1a1b の両方で，停留時間の割合を試行内の前半後半で分けて分析した

- Fig.3 は注視されていた文字のタイプ(ディストラクター　vs　解答文字)と前半後半の停留割合の際を記したものである

✧　前半の分析

- 実験 1a(A)と 1b のポップアウト試行(B)では，前半には文字のタイプによる注視時間の差異はなかった
- 反対に，非ポップアウト試行では，前半の時間の多くをディストラクターに費やしていた($t(29) = 2.32$, $p < .05$).
- 前半の試行ではディストラクターと解答文字の間に差異がない

⇒先天的な文字間のバイアスがないことを示している

✧　後半の分析

- 解答の後半では，ディストラクターと解答文字の間で，解答文字を見る割合のほうが高かった(see Fig. 3; Exp. 1a: t(31) = 8.49; Exp. 1b popout: t(31) = 6.67; Exp. 1b non-popout: t(29) = 4.59; all ps < .001).
- 実験 1a，1b ポップアウト，1b 非ポップアウトどの条件においても，前半後半と文字のパターンの間で交互作用が見られた(Exp. 1a: F(1,31) = 69.45; Exp. 1b popout: F(1,31) = 41.95; Exp. 1b non-popout: F(1,29) = 4.78; all ps < .001).

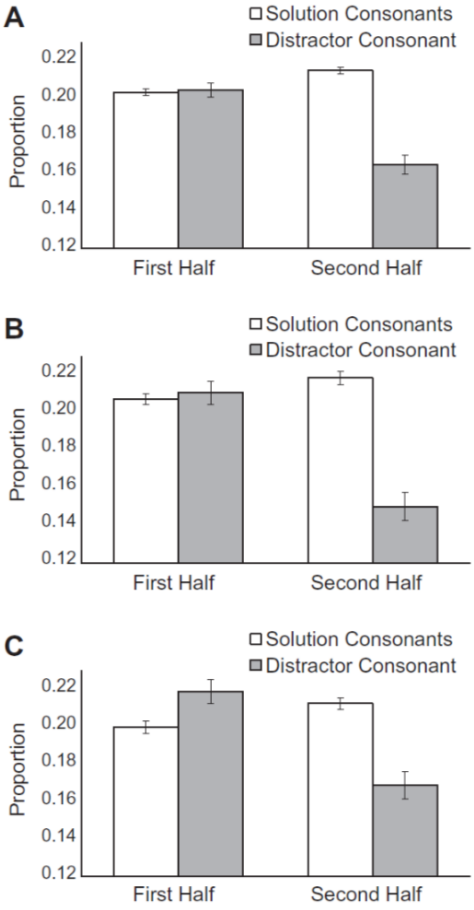

Fig. 3. Proportion of viewing time on the solution consonants and the distractor consonant in the first and second half of trials in Experiment 1a (Panel A), popout trials in Experiment 1b (Panel B) and non-popout trials in Experiment 1b (Panel C).

➢　開始直後と反応直前の視線の変化

- ディストラクターと解答文字の間の違いを検討するため，課題開始直後と反応直前の視線の類似度を測定した(Fig.4)。
- 100 ms ごとに視線が 5 つの文字の間の視線の向いた時間の割合を計算した.
- 解答文字とディストラクターはそれぞれ平均を算出した.
- また，各 100m ごとに，95%信頼区間を，1000 回の反復を伴うブートストラップ法により算出した.

- 最初に文字エリアに入ったところを開始直後，最後に文字エリアから出たところを反応直前とした
- この時トリミングされた平均時間は最低 218 ms ， 最高 734 ms であった.
- トリミング後の前後 3500ms のみを分析の対象とした(Fig.4).

✧ 前半(はじめから 3500ms)

A 実験 1a

C 実験 1b　ポップアウト

E 実験 1b　非ポップアウト

✧ 後半(終わりから 3500ms)

B 実験 1a

D 実験 1b　ポップアウト

F 実験 1b　非ポップアウト

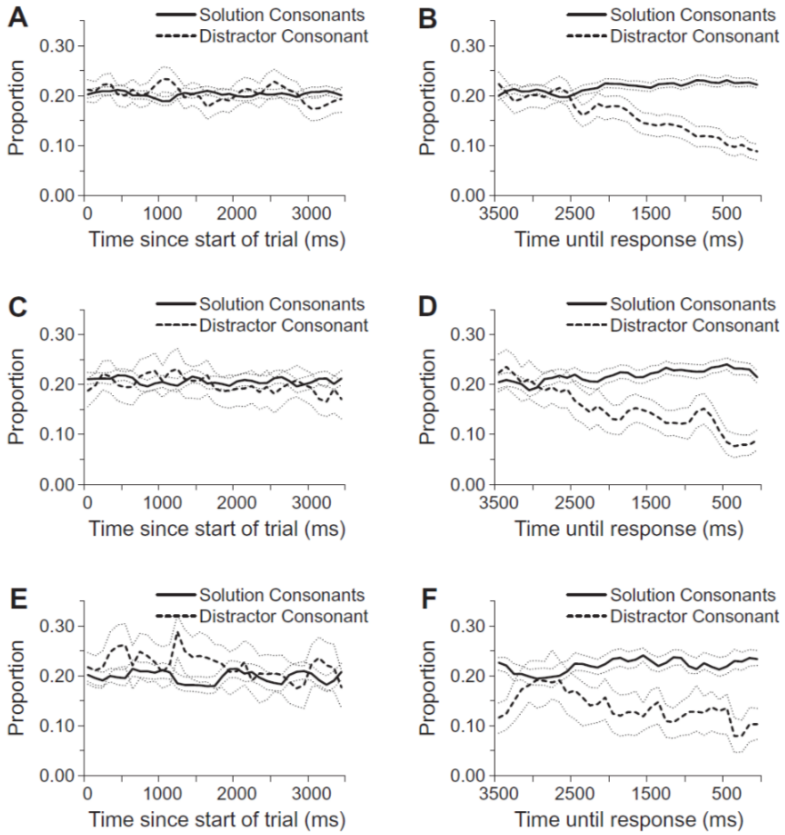

Fig. 4. Gaze likelihood curves for the first 3500 ms of trials (Panels A, C, and E) and the last 3500 ms of trials (Panels B, D, and F), showing the proportion of viewing time (with 95% confidence intervals about each 100 ms time bin) on the solution consonants and the distractor consonant, for correct trials from Experiment 1a (Panels A and B), popout trials from Experiment 1b (Panels C and D) and non-popout trials from Experiment 1b (Panels E and F).

- 前半の試行ではどちらのタイプの文字に対してもチャンスレベル程度にしか見ていなかった.
- 一方で，後半になるとディストラクターに対する注視時間が減少していった
- ディストラクターと解答文字の間の際がどこで生じたのかを検討するために, 2 つの文字の間の差の信頼区間を計算した.

⇒実験 1a では 2.4 s, 実験 1b ポップアウトでは 2.3 s , 実験 1b 非ポップアウトでは 2.3 s の時点で有意な差が見られた

⇒報告された参加者の主観的経験に関わらず，回答に関する知識は解答をする以前から持っていることが指示された。

4. Discussion

➢ アナグラム課題を洞察問題とすることについて，今回の実験(実験 1b)では参加者の多くが主観的な洞察があったと報告している

➢ 眼球運動モニタリングと視覚的ベースラインの導入によって，今回の研究では参加者の持つ知識をオンラインで観察することが出来た

- 今回の実験では，課題のはじめには，文字パターン間の注視時間はなく，ディストラクターと解答文字間における先天的な偏りがないことが示された
- 施行の終わりごろには，ディストラクターの注視時間は減少していった
- この減少は，解答する数秒前から始まった

⇒以上の知見は，洞察が漸進的に解決されるという説を支持する証拠を示した

⇒重要なことはこれらの傾向は参加者の主観的な傾向に関係なく，洞察の主観的報告の非連続性と解決知識の漸進性の乖離を示したことである.

➢ ⇔ディストラクターに対する注視の減少が参加者が回答を確かめるために(課題内で推奨されていなかったとしても)生じたものではないか？

- この批判は，ディストラクターに対する注視が減少している 2.4s を説明することが出来ない
- 1 つの文字に停留する時間の平均が 300ms 以下であったことから，たとえ四文字すべてを確認してもこの半分の時間しか説明できない

⇒したがって，本実験における眼球運動におけるデータは，参加者が解答の前に持っている知識を測定したものだといえる

✓ 主観的報告の非連続性と知識の蓄積の漸進性の間の乖離は，洞察が生じる前に知識が先行するということを支持する証拠である。