

# 洞察問題解決における潜在的情報処理についての 生理指標を用いた検討

## Investigation of the Implicit Information Processing system in Insight Problem Solving with Plethysmography

小出 諒<sup>†</sup>, 鈴木 宏昭<sup>‡</sup>  
Ryo Koide, Hiroaki Suzuki

<sup>†</sup> 東京大学学際情報学府, <sup>‡</sup> 青山学院大学

Graduate School of Interdisciplinary Information Studies, University of Tokyo, Aoyama Gakuin University  
koide@ardebeg.c.u-tokyo.ac.jp

### Abstract

Previous studies have shown that the information presented subliminally is effective for insight problem solving.

We examined the implicit information processing system with finger pulse volume (PV). The results showed that subjects subliminally presented with the goal of an insight puzzle tended to have PV reduced more often than those in the control group.

**Keywords** — Insight, Subliminal Perception, Plethysmography

### 1. はじめに

洞察問題解決に関する近年の研究は、そのプロセスが無意識的なメカニズムに大きく依存することを明らかにしてきた[1][2][3][4][5]。これらの研究は、正答率、解決時間だけでなく、眼球運動、制約緩和行為など様々な指標を用いることで、洞察の「プロセス」における無意識的情報処理の役割、機能の特定に努めてきた。ただし洞察問題解決時に情報処理システム内で起こる変化が、上記のような行動に必ず現れるというわけではないだろう。行動上の変化は見られなくても、何らかの変化が生じている可能性は十分に考えられる。このようなことから、fMRI などを用いた研究により、脳レベルの活動と洞察との関係を探る研究も活発に行われている[6][7][8]。

生理指標を用いたこれらの研究は洞察の無意識的メカニズムの解明に大きな可能性を開くものである。これらのように、洞察問題解決の最中における無意識的情報処理の解明に生理指標を組み合わせることで、課題の解決率などといったデータを用いた、間接的な分析ではなく、無意識的処理が行われているその瞬間に、生理的な反応としては何が起きているのかを捉えることができる。と考える。

そこで本研究では、Hattori et al. (2013)や鈴木・福田(2013)で用いられたサブリミナルヒントの提示と指尖容積脈波測定を組み合わせた研究を行い、洞察問題

解決における無意識的情報処理を、より詳細なレベルで捉えるための基盤作りを試みる。

指尖容積脈波測定の具体的な手法として、近赤外光を指先部分に照射し、照射部位の反対側に配置されたフォトダイオードで、その透過量を評価するというシステムを用いる。得られる脈波の振幅は情動の影響を受けやすく、センサーの近赤外光の透過量とは負の相関があるため、交感神経が働くことで脈波の振幅は減少する。そのため、脈波の振幅が減少しているときは、何らかの原因により心身が興奮・緊張状態にあることがわかり、目の前の対象について集中し、注目していることなどが考えられる。

### 2. 指尖容積脈波

今回、洞察に関するプロセスを詳細に捉える指標として、指尖容積脈波について述べる。指尖容積脈波(pulse volume: PV)は心理的なストレスや情動に対して敏感に変化する生理反応として、心理生理学研究では古くから用いられてきた[9][10][11][12][13]。

なお血行力学的反応の観点から、ストレス負荷課題によって生じる反応は大きく二つに分類される[14]。それらは心拍出量といった心臓優位型反応と、全末梢抵抗といった血管優位型反応である。さらに、行う課題によって現れる反応が異なる。計算課題、反応時間課題などでは心臓優位型反応が、恐怖映像の視聴やビジランス課題などでは血管優位型反応が現れる。

本研究では、課題中に提示されるサブリミナル画像についての反応についても分析するため、上で挙げた課題の中ではビジランス課題と同様の性質をもつ課題である。と考える。そのため、血管優位型反応である全末梢抵抗の一部である指尖容積脈波を指標として用いる。

### 3. 方法

#### I. 被験者

大学生 22 名が実験の被験者となった。被験者はランダムに、ヒントがサブリミナル刺激として提示される実験群と、提示されない統制群とに割り振られた。なお、いずれの被験者も本実験で用いたパズルを解いた経験はないと報告している。

#### II. 課題・装置

被験者の行う課題は、図 1 に示すように一つの六角形と 12 枚のコインを用いたパズルである。「12 枚のコインを六角形の全ての辺それぞれに 4 枚ずつ触れるように並べる。このときコイン同士を重ねてはいけない。」というものである [15]。

この課題について iPad のアプリケーションを作成した。ドラッグによってコインを操作でき、コインの軌跡とその時間が計測できるようにした。実験群に提示されるサブリミナル画像は、正解の配置図であり、課題解決中 20 秒ごとに約 1/30 秒表示される。その後 1 秒間、マスク画像が提示される。一方統制群はコインが正解とは無関係の配置になっている画像が、実験群と同様に 20 秒ごとに約 1/30 秒表示され、その後マスク画像が 1 秒間表示される。

また表示されるマスク画像に対してダミー課題を行った。マスク画像は数種類の画像からランダムに提示され、表示された画像と一つ前の画像との異同判断をさせた。

指尖容積脈波を測定する装置は先行研究 [16]にある回路を採用し、Arduino マイコンを用いて作成した装置を使用した。そして非利き手第 2 指より、指尖光電式容積脈波 (finger photoplethysmogram : FPG) を測定した。分析に用いる指標として多くの先行研究で用いられている算出方法と同様に、Arduino の millis 関数によって R 波の出現時刻を ms 単位で求めることで、拍動間隔 (Inter Beat Interval: IBI) を算出した。また、R 波が出現する間隔を心周期とし、その期間内の脈波の最大値と最小値を求め、さらに最大値から最小値を引いた値を脈波振幅 (Pulse Volume Amplitude : PVA) として算出した。

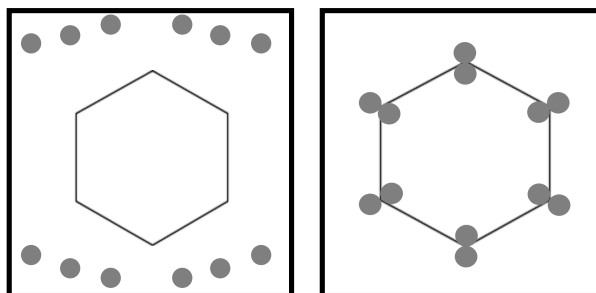


図 1 実験課題 (左図：初期状態 右図：正解配置)

#### III. 手続き

被験者には「異なる二つの課題を同時に解くときの様子を調べる」と伝え実験を開始した。まず一つ目の課題である、前述したパズルのルールについて伝えた。続いて、二つ目の課題について「パズルを解いている間 20 秒ごとに繰り返し画像が画面上に現れる。これらについて、『一つ前に見た画像と今見た画像とが同じものか違うものか』を判断し、画像が表示されるたびに口頭で答える課題」であると伝えた。そのうえで非利き手第 2 指にセンサーを装着した。そしてパズルの制限時間を 6 分と伝えパズルを解き始めた。

時間内に解決、または 6 分が経過した時点で実験を終了し、その後に実験に関する質問紙に記入させた。

### 4. 結果と考察

#### I. 群間の比較

パズル課題の解決率と解決時間について、実験群と統制群との間に有意な差があった。解決率は実験群が 63.6%で、統制群が 16.7%であった ( $\chi^2(21, N=22)=7.071, p<.05$ )。解決時間については、実験群の平均が 312.7 秒で統制群の平均が 339.0 秒であった。(なお未解決者の解決時間は、パズルの制限時間である 360 秒とした。)

これより、画像をサブリミナル提示したことが解決率への影響を及ぼしている可能性を示唆している。

## II. 制約逸脱率

洞察問題解決では、思い込みなどにより試行の初期段階では偏った行動をとるが、試行錯誤などの結果次第にその偏りがなめらかになる。それによって初期段階では選択されにくかった行動もとることができるようになり、解決へと至る[17]。このなかで、人の思い込みなどによりもともと選ばれやすい行動がその性質により「対象制約・関係制約・ゴール制約」の3つに分類されている[18]。これらの制約を逸脱することで、より多様な選択を行うことができるようになる。

今回はこれらのうち、対象制約と関係制約について分析を行った。対象制約は「問題で与えられる個々の要素のエンコードのレベルを表現」したものである。今回のパズルでは辺の内側に並べる・角の内側で二辺に同時に触れるように並べることで、この制約を逸脱したものと定義した(図2)。関係制約は「問題で与えられる対象間の関係を表現」したものである。今回は辺を挟んで辺の外側と内側とでコインが対になるように置くことで、この制約を逸脱したと定義した(図3)。

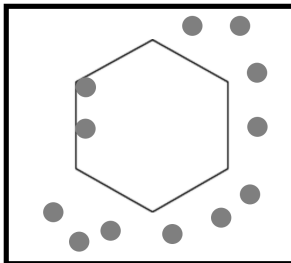


図2 対象制約逸脱例

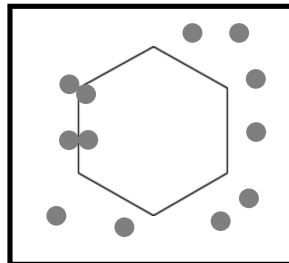


図3 関係制約逸脱例

これらの制約の逸脱率(試行回数に対する制約逸脱回数)について分析すると、以下のようになった。対象・関係制約とも、実験群と統制群の間で有意差があり(対象制約,  $U=28.0, p<.05$  関係制約,  $U=8.50, p<.005$ )、解決者と非解決者の間でも有意差があった(対象制約,  $U=16.0, p<.05$  関係制約,  $U=18.0, p<.01$ )。

また、時間経過に伴う制約逸脱の様子を調べるため、各群における関係制約・対象制約の逸脱率について、試行を二分割した前半後半のそれぞれで分析した。その結果、試行前半での関

係制約の逸脱率は実験群が統制群に比べ有意に高かった。 $(F(1,21)=10.823, p<.005)$ 。

この結果から、制約の逸脱率においても実験群と統制群とで差があり、さらに関係制約について早い段階で逸脱することが、本課題の解決につながる事が分かる。

## III. 関下刺激の生理指標への影響

以上のように、行動指標においては群間で有意な差が認められた。続いて、生理指標についてみていく。

課題中に画面にマスク画像が表示されたのちの5秒間で、PVAの減少が見られる割合を比較した。この5秒間という時間の設定については、先行研究[19]において、皮膚への寒冷刺激に対して『一般に初期変動として、2-3秒の潜時を経て急速な振幅減少と基線の下降がほぼ併行して起り、約5秒前後で振幅は最小になることが認められている。これは身体への直接の刺激に対する反応であるが、外部刺激の生理指標への影響という観点から、本研究でもこの数値を参考にした。

なおPVAを分析する際、課題遂行中のPVAの平均値を基準とした相対値を算出した。そして基準から有意に振幅が減少した部分を分析に用いた。

結果として、実験群は統制群に比べ有意にPVAの減少率が高かった( $U=25.00, p<.05$ )。生理指標に画像のサブリミナル提示が影響を及ぼしたと考えられる。

## 5. 総合考察

これらから、まず実験群・統制群の正答率の差について考察する。これまでに採用されてきた洞察問題に加えて、本実験で採用した課題でもサブリミナル効果の影響が確認できた。これは、洞察というテーマにおいて無意識下での刺激が行動に影響を及ぼすことを支持する結果となった。

次に関係制約の逸脱率についてである。このパズルの解決においては、試行の前半で関係制約を逸脱することがその後の解決を導く可能性がみられた。これは、洞察問題の一つであるTパズルなどとは異なり、対象制約・関係の制約・ゴール制約といった種類がある中で、本課題ではある特定の制約が課題の解決を阻害し

ていることを示している。

最後に生理指標による分析についてである。実験群は統制群に比べて、画像表示後5秒間でのPVAの減少の割合が有意に高かった。これは、閾下提示された画像に対して無意識のレベルで何らかの反応をし、それがPVAに影響を及ぼした可能性がある。この結果により、皮膚への刺激などといった直接的なものでなく、また、対象の意識にのぼらない刺激の、生理指標への影響を確認することとなった。本研究は、洞察問題解決における潜在的情報処理プロセスの解明の足がかりとなるだろう。

## 6. 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金基盤（B）（15H02717）の助成を受けて行われた。

また、本研究を進めるにあたり、東京大学の開一夫教授にご指導を賜りました。実験の実施においては青山学院大学の坂口正大さんにご協力いただきました。感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Hattori, M., Sloman, S. A., & Orita, R. (2013) "Effects of subliminal hints on insight problem solving.", *Psychonomic Bulletin & Review*, Vol. 20, No. 4, pp. 790-797.
- [2] 寺井仁, 三輪和久, 古賀一男(2005) "仮説空間とデータ空間の探索から見た洞察問題解決過程", *認知科学*, Vol. 12, No. 2, pp. 74-88.
- [3] 西村友, 鈴木宏昭 (2006) "洞察問題解決の制約緩和における潜在的情報処理", *認知科学*, Vol. 13, No. 1, pp. 136-138.
- [4] 鈴木宏昭, 福田玄明 (2013) "洞察問題解決の無意識的性質: 連続フラッシュ抑制による閾下プライミングを用いた検討", *認知科学*, Vol. 20, No. 3, pp. 353-367.
- [5] 小田切史士, 鈴木宏昭 (2015) "洞察問題解決における潜在情報の性質: 連続提示された閾下情報は統合できるのか", *日本認知科学会第32回大会発表論文集*.
- [6] Bowden, E.M., & Jung-Beeman, M. (2003a) "Normative data for 144 compound remote associate problems.", *Behavioral Research Methods, Instruments, & Computers*, Vol. 35, No. 4, pp. 634-639.
- [7] Luo, J. & Niki, K. (2003) "Function of hippocampus in 'insight' of problem solving.", *Hippocampus*, Vol. 13, No. 3, pp. 316-323.
- [8] Seger, C.A, Vivek, P, Russell A.P, John D.E. Gabrieli. (2000) "Neural activity differs between explicit and implicit learning of artificial grammar strings: An fMRI study.", *Psychobiology*, Vol. 28, No. 3, pp. 283-292.
- [9] Bloom, L.J. & Trautt, G.M. (1977) "Finger pulse volume as a measure of anxiety: further evaluation.", *Psychophysiology*, Vol. 14, No. 6, pp. 541-544.
- [10] Miller, S.B. & Ditto, B. (1989) "Individual differences in heart rate and peripheral vascular responses to an extended aversive task.", *Psychophysiology*, Vol. 26, No. 5, pp. 506-513.
- [11] Miller, S.B. & Ditto, B. (1991) "Exaggerated sympathetic nervous system response to extended psychological stress in offspring of hypertensives.", *Psychophysiology*, Vol. 28, No. 1, pp. 103-113.
- [12] Smith, T.W., Houston, B.K. & Zurawski, R.M. (1984) "Irrational beliefs and the arousal of emotional distress.", *Journal of Counseling Psychology*, Vol. 31, No. 2, pp. 190-201.
- [13] Stemmler, G. (1989) "The autonomic differentiation of emotions revisited: convergent and discriminant validation.", *Psychophysiology*, Vol. 26, No. 6, pp. 617-32.
- [14] Matthews, K.A., Weiss, S.M., Detre, T., Dembroski, T.M., Falkner, B., Manuck, S.B., Williams, R.B., Jr. Wiley. (1986) "Handbook of stress, reactivity, and cardiovascular disease.", *Stress Medicine*, Vol. 3, No. 1, pp. 76-77.
- [15] Cunningham, J.B., & MacGregor, J.N. (2014) "Productive and Re-productive Thinking in Solving Insight Problems.", *The Journal of Creative Behavior*, Vol. 48, No. 2, pp. 44-63.
- [16] 長野祐一郎 (2012) "計算・迷路課題が自律系生理指標に与える影響の検討", *文京学院大学人間学部研究紀要*, Vol. 13, pp. 59-67.
- [17] 開一夫, 鈴木宏昭 (1998) "表象変化の動的緩和理論: 洞察メカニズムの解明に向けて", *認知科学*, Vol. 5, No. 2, pp. 69-79.
- [18] 鈴木宏昭, 開一夫 (2003) "洞察問題解決への制約論的アプローチ", *心理学評論*, Vol. 46, pp. 211-232.
- [19] 武田光太郎 (1959) "寒冷刺激に対する指尖光電容積脈波と皮膚電気反射について", *医療*, Vol. 13, No. 12, pp. 955-965.