

洞察問題解決における潜在情報の性質 —連続呈示された閾下情報は統合できるのか—

The Nature of the Implicit System in Insight Problem Solving: The Possibility of Integrating Sequentially Presented Subliminal information

小田切 史士[†], 鈴木 宏昭[‡]

Hitoshi Otagiri, Hiroaki Suzuki

[†]青山学院大学社会情報学研究科, [‡]青山学院大学人間科学部

chrono_brake@hotmail.co.jp

Abstract

近年, 洞察問題解決などの一部の高次認知機能において, 潜在処理が重要な役割を担うことが, サプリミナル刺激などの閾下呈示による手法によって示されてきている。本研究では複数の情報を連続して閾下呈示した場合, 人間は先に呈示された情報を保持し続けることが出来るのか, それとも後から呈示された情報によって上書きされてしまうのかを検証した。方法としては連続フラッシュ抑制(continuous flash suppression)を用いて, 洞察問題解決の正解画像を6秒呈示したヒント画像呈示群, 正解画像を3秒呈示した後に上書き画像を3秒呈示した上書き画像呈示群, 何も閾下呈示しない統制群を加えた3群の洞察問題解決に対する成績の比較を行った。結果は, 統制群に対してヒント画像呈示群と上書き画像呈示群の解決人数は増加したが, 後者の両群の間には差が見られなかった。このことから人間の潜在処理過程において, 古い情報が新しい情報に上書きされていないことを示すと同時に, 閾下呈示による時間の長さは潜在処理の促進に関係が無いことが示唆された。

Keywords — insight problem solving, continuous flash suppression, implicit learning, subliminal priming

1. はじめに

本研究は洞察問題解決が潜在的な処理過程に大きく依存しているという近年の研究結果を踏まえ, 閾下呈示されたヒント情報を人間はどのように保持しているのか, その一端を検証することを目的としている。手法としては連続フラッシュ抑制(continuous flash suppression)を用いて, ヒント画像を呈示した後に異なる画像を連続して呈示した場合でも, 先に呈示されたヒント情報が保持され続けるのかを検証する。

1.1 洞察問題解決と無意識

一般的には高次認知機能において, 意識上における顕在システムが意識外でなされる潜在システムより優位であるという見方をされている。しかし全ての高次認知機能がこの考えに合致するわけではなく, 洞察問題解決のような例外が存在する。

洞察問題解決は非定型的な解法が必要とされる問題であり, 解決者は自身の状態を適切に認識することができず, 意識の上では行き詰まりの状態(インパス)に陥ってしまいがちである。この行き詰まりの状態から抜け出すことは容易ではなく, 多くの場合は試行錯誤を繰り返すうちに突然, 解が何処からともなくひらめくような印象を伴って解決に至る。これは試行を繰り返す過程で解決を妨害している制約を緩和し, 適切な操作の確率を上昇させていくことを学習した結果である(開・鈴木 1998)。寺井・三輪・小賀(2005)は, インパスに陥っている被験者が解決するための方略として誤った仮説を報告していても, この時の被験者らの眼球運動の変化過程を見ると, 本人は無自覚だが試行を重ねると共に適切な操作を増加させていることを報告している。また Siegler(2000)は小学生に「 $A+B-B$ 」のような, 法則に気付きさえすれば見ただけで答えがわかる2桁の足し算問題を与え続け, 解決時間を測定した。この時, 彼らには法則に気が付いた時点で報告をするように求めたが, 解決時間の減少は彼らが言語報告をするよりも平均して5回程前の問題から発生している。

これらの研究から, 洞察問題解決に取り組む人

間の意識と行動には乖離がしばしば見られ、無意識における処理が意識上の処理よりも先行していることが考えられる。

1.2 閾下呈示による潜在性の検証

洞察問題解決の潜在システムの重要性を浮き彫りとするために、西村・鈴木 (2006)は被験者にヒント情報を含むサブリミナルカット(約 1/30 秒)を挿入した動画を見せた上で、洞察問題解決に挑戦させた。その結果、被験者はヒント情報を意識上では知覚していないにもかかわらず、解決人数や解決に至るまでの時間において大きな改善がみられたことを報告している。更に Hattori, Sloman & Orita (2013)は複数の洞察問題を用いて同様の手法による実験を行ったところ、ヒント情報の閾下呈示による解決人数の増加を示した。

しかし、これらのサブリミナルカットを用いた手法は、被験者に呈示されるヒント刺激が非常に短いため、その効果が有意なレベルに到達しない危険性を孕んでいる。例えば服部・柴田 (2008)では、ある程度のパフォーマンスの改善は見られたものの、統計的には有意には至っていない。

鈴木・福田 (2013a)は上述の問題点を改善した手法として、Tsuchiya & Koch (2005)が用いた連続フラッシュ抑制(continuous flash suppression, 以降 CFS)を使用した。CFS とは両眼視野闘争を利用した刺激の呈示方法で、短時間の間に激しく変化するコントラストの高い画像を優位眼に呈示し、劣位眼にはコントラストの低い静止画像を呈示することで、コントラストの低い静止画像が長時間に渡り抑制されてしまい、知覚出来なくなる現象である。CFS は従来のサブリミナルカットによる呈示方法とは異なり、刺激を数十秒から数分に渡り継続して呈示することが可能である。鈴木らは CFS を用いることで、被験者のパフォーマンスを大幅に改善させることに成功している。

また鈴木らは、閾下呈示された情報が何らかの貯蔵システムに保管され、ワーキングメモリのよう

に問題解決時の利用された可能性を考慮し、洞察問題のヒント画像を 3つの断片的な情報に分解し、連続して CFS による閾下呈示を行った(鈴木・福田, 2013b)。仮に人間が無意識に与えられた情報を操作し、統合することが可能であるならば、被験者のパフォーマンスは向上するはずである。しかし結果は閾下呈示を行った影響が見られなかった。その一方で Kawakami, Yoshida (2015)は、パラパラ漫画のように 47 枚に分割された、ストーリー性を有するサブリミナルカット(三角が丸を追いかける画像)を系列的に閾下呈示したところ、被験者が潜在的なレベルで図形のストーリー内における役割を認識していることを報告しており、人間の潜在システムは複数の情報を統合できる可能性を示した。

鈴木・福田 (2013b)と Kawakami, Yoshida (2015)の実験結果は対立しており、人間の潜在システムにおける情報の統合可能性の是非については、更なる検証の必要がある。鈴木らが考えるように閾下呈示された情報が何らかの貯蔵システムに保持されるのだとしたら、鈴木・福田 (2013b)の結果は容量の問題が発生していた可能性が考えられる。ワーキングメモリが視覚オブジェクトをだいたい 4 つ程度までしか保持できないように(Luck & Vogel, 1997)、鈴木らの使用した画像は情報量が多すぎた結果、全てを保持することが出来ず、容量オーバーを起こしていたのかもしれない。そのため、後から呈示された情報によって先に呈示された情報が上書きされてしまい、被験者のパフォーマンスは改善しなかった可能性が考えられる。

本研究では、この鈴木らの実験結果が上書きされていたために起こったものである可能性について検証を行う。具体的には被験者をヒント画像呈示群、上書き画像呈示群、統制群の 3 条件にランダムに振り分け、条件毎に CFS によって異なる画像の閾下呈示を行った後に、洞察問題に取り組ませる。ヒント画像呈示群では洞察問題解決の正解画像を閾下呈示する。先行研究より、この条件における被験者らのパフォーマンスは向上することが推測される。上書き画像呈示群では呈示時間

の前半分ではヒント画像提示群と同じ画像，残り半分の時間では異なる画像に差し替えることとする。もし上書きが起これなければ被験者の成績は向上するが，ヒント画像提示群よりも正解画像の提示時間が短い分，パフォーマンスは劣ることが考えられる。逆に上書きが発生しているのであれば，被験者のパフォーマンスは向上しないと思われる。最後に統制群に対しては何も無い灰色のブランク画像を提示した。

2. 方法

2.1 被験者

男女 97 名のうち，実験後のアンケートにて実験意図に気付いていたと記入した者と，今回使用した洞察課題である T パズル(図 1)に過去挑戦した経験を有する 33 人を除外し，10 代・20 代の男女 64 名を分析対象とした。なおヒント画像提示群は男 7 名，女 14 名の合計 21 名で，上書き画像提示群が男 7 名，女 13 名の合計 20 名，統制群が男 9 名，女 14 名の合計 23 名であった。

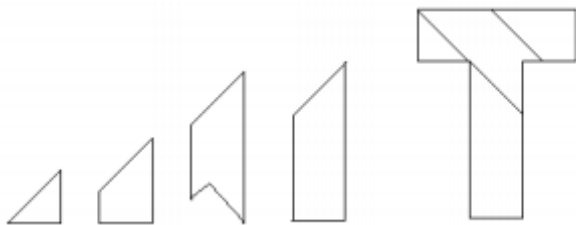


図 1 T パズル。左の 4 つのピースを用いて T の形を作る洞察課題。完成形のイメージから，五角形のピースを斜めに置き，かつ凹の部分を開けたままにするということになかなか気付けず，解決に至るのが非常に困難な問題である。

2.2 刺激と装置

図 2 のように，被験者から 56cm 離れた位置に置かれた 1 台の液晶ディスプレイ(Diamondcrysta Color RDT242WH)の左右で異なる画像を表示し，ステレオスコープ内の 4 枚の鏡によって被験者の左

右の眼に対して，それぞれ異なる画像を提示可能にした。優位眼(以下，フラッシュ画面)にはランダムな大きさとし，形により描かれた図形を提示し，これらの図形は 10Hz 毎に更新されることで変化し続けた。劣位眼(以下，ターゲット画面)にはヒント画像，上書き用画像，サンプル画像，説明用画像の 4 種類が用意された(図 3)。ヒント画像は T パズルの正解であり，五角形の部分を黒色にし，それ以外のピースには白色を採用した。また，背景は灰色にした。上書き用画像は T パズルの 4 つのピースで作れる異なる形を採用し，配色もヒント画像と同じとした。ただし，この画像は T の形を作る上で必要となる対象制約(五角形を基準面に平行，或いは垂直に置く)と関係制約(五角形の凹部分を他のピースで埋めてしまう)の逸脱を促さないものを使用している。サンプル画像は五角形と楕円を散りばめた画像の 2 種類を用意した。説明用画像は枠線の中に 3 つの長方形を配置したもので，これは CFS についての最初の説明時に用いた。

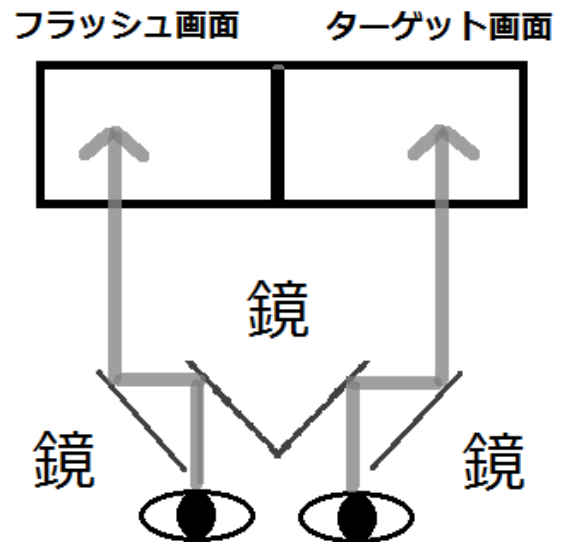


図 2 優位眼が左目の場合の図。右目が優位眼の場合はフラッシュ画像とターゲット画像が反対となる。

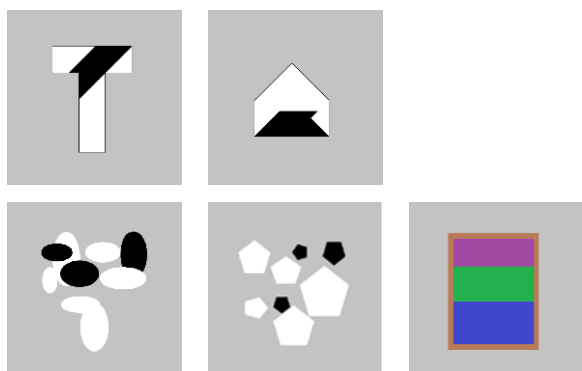


図3 実験で使った画像。上段左がヒント画像。上段右が上書き用画像。下段の左2つがサンプル刺激で、右が説明用画像である。

2.3 手続き

最初に被験者に対して優位眼の調査を行った。参加者は両手を使って穴を作り、両目を開けた状態でその穴の中に対象物(ぬいぐるみ)が見えるように手の位置を調整した。その状態から片目をそれぞれ閉じた状態で対象物の観察を行い、対象物が穴を通して見える方の目を優位眼とした。

次にディスプレイのフラッシュ画面とターゲット画面のそれぞれ中心部分に、注目点として赤い十字を表示した。被験者には頭部を固定した上でステレオスコープを覗き込ませ、両目で見た時にこの2つの注目点が重なり1つに見えるようにステレオスコープ内の鏡の角度を調整させた。

注目点の調整が完了したことが確認できたら、被験者には左右の目に異なる画像を呈示するが、見えるのは優位眼に映している高コントラストな画像のみであることを説明した。またこの時、デモンストレーションとしてコントラストを低くした説明用画像を用いて、実際に知覚できないことを体験させている。そして実験の目的は、この劣位眼に呈示した画像のコントラストはどの程度まで低下させても知覚することが可能なかを検証することであるという説明を行い、被験者にはサンプル画像を複数回呈示した。この時、サンプル画像が見えると報告した被験者に対しては、コントラストを更に低くした画像に取り換えて再度呈示を行った。3回連続で同じコントラストのサンプル画像を知覚出来ない状態が

続いた場合、その被験者を以下の3つのいずれかの条件に振り分け、閾下呈示を行った。

- 1) ヒント画像呈示群：6秒ヒント画像を閾下呈示した。
- 2) 上書き画像呈示群：3秒ヒント画像を閾下呈示した後に、続けて上書き用画像を3秒閾下呈示した。
- 3) 統制群：灰色のブランク画像を呈示した。

なお、全てのコントラストのサンプル画像に対して見えると報告をした被験者がいた場合は、それも統制群に振り分けることとした。

CFSによる閾下呈示終了後、室内の別のテーブルにてTパズルに挑戦させた。この時、被験者には完成時の大きさより15%縮小して印刷したTの枠線をお手本として与えたが、このお手本の上にピースを乗せる行為は禁じている。パズルの挑戦開始から15分が経過した時点で解決に至れない被験者には、関係制約を緩和する助言(5角形の凹部分を埋めない様に指示)をした上で、更に3分間の挑戦を行わせた。この時、一連の様子は被験者の顔が映らないように配慮した上で、ビデオカメラによる録画を行った。

実験終了後、被験者に対してアンケート調査を行った。アンケートは実験中に実験意図に気付いていなかったか、以前にTパズルの挑戦経験はあったかの2点について尋ねたものである。

3 結果

3.1 解決者人数

まず15分以内に自力解決できた被験者はヒント画像呈示群が21人中6人(28.57%)。上書き画像呈示群が20人中7人(35%)、統制群が23人中2人(8.7%)だった(図4)。この3群の自力解決率に対して χ^2 検定を行ったところ、結果は有意傾向であった($p < .10$)。

解決時間	自力解決	ヒント有り解決	未解決
ヒント画像呈示群	28.5	38.1	33.3
上書き画像呈示群	35.0	30.0	35.0
統制群	8.7	30.4	60.8

図4 各群の解決時間の割合比較(単位は%)

3.2 解決時間

自力解決者の平均解決時間はヒント画像呈示群が5分13秒で、上書き画像呈示群は8分7秒であった。また統制群の自力解決者の時間は29秒と3分40秒である。続いて自力解決出来なかった者を15分に換算して平均解決時間を出したところ、ヒント画像呈示群が12分12秒、上書き画像呈示群が12分35秒、統制群が13分52秒であった。これらに対して一元配置分散分析を行ったところ、条件間に有意差はみられなかったが、これは未解決者を15分と見なした影響によるものと考えられる。

3.3 制約緩和

Tパズルを解くためには、五角形のピースを配置する際に、対象制約と関係制約からの逸脱が必要となる。これらの制約からの逸脱がどの程度起きていたのかについてセグメント分析を行った。

セグメントとはあるピースが別のピースと接続された時点を開始点とし、そのピースの分離をもって終了とカウントされるもので、1つのセグメントは1試行に対応している(開・鈴木 1998)。15分間の自力での挑戦時に行われたセグメントの中で、五角形の最も長い辺が基準線に対して垂直あるいは平行に置かれなかったセグメントを対象制約の逸脱とし、また五角形の凹部分が他のピースと接続されなかったセグメントを関係制約の逸脱とした。なお上書き画像呈示群において、ビデオカメラの不調により録画に不備のあった被験者が1名いたため、その1名に関してはここでは分析対象から除外している。

図5は15分間全体における対象制約と関係制約の緩和率を表したものである。対象制約と関係制約ともに最も高いのはヒント画像呈示群となった。2番

目に高いのは対象制約では上書き画像呈示群だが、関係制約は統制群となっている。これらに対して一元配置分散分析を行ったところ、対象制約と関係制約のどちらに対しても条件間における有意差はなかった。

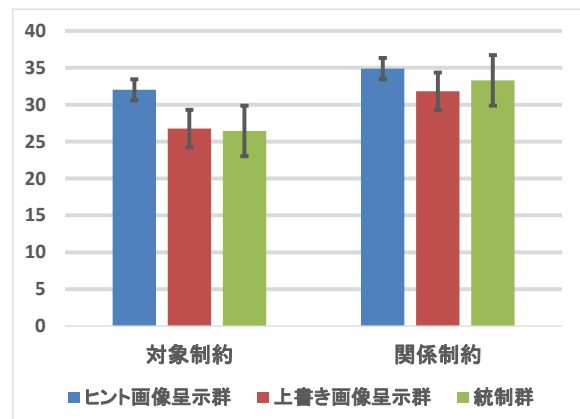
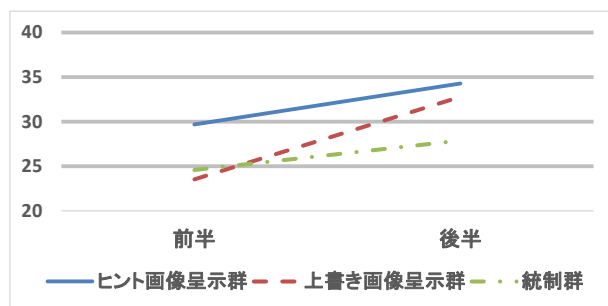


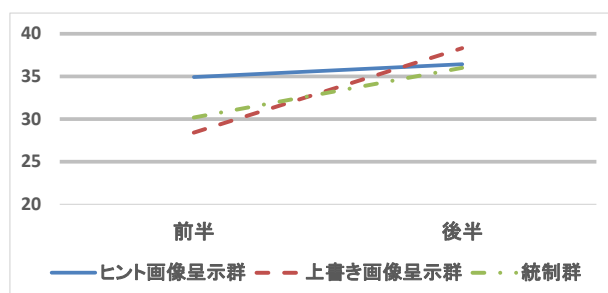
図5 15分全体の制約緩和率

次に、時間の前半と後半で分けた制約の緩和率の変遷を図6に示した。図6を見るとヒント画像呈示群はどちらの制約においても、常に高い緩和率を示している。しかし関係制約の後半において、条件毎の緩和率に差が見られなくなっている。また前半から後半にかけての緩和率の増加に関しては、上書き画像呈示群が最も大きく、対象制約と関係制約のどちらも約10%上昇している(対象制約9.26%, 関係制約9.86%)。

対象制約と関係制約に対して、時期(時間の前半後半)と条件を独立変数、制約の逸脱率を従属変数とした2要因混合計画分散分析を行った。結果、対象制約は時期の主効果が有意傾向であったが($F(1,60) = 3.369, p < .10$)、条件の主効果および条件と時期の交互作用は有意ではなかった。また関係制約に関しては、時期の主効果において有意差が認められたものの($F(1,60) = 5.257, p < .05$)、条件の主効果および条件と時期の交互作用に関しては同じく有意ではなかった。以上から前半よりも後半において制約の逸脱が多いことが示された。



(a) 対象制約の緩和率



(b) 関係制約の緩和率

図 6 時間の前後における制約緩和の過程

4 総合考察

本研究は CFS によって洞察問題の正解画像を闕下呈示した後に、連続して異なる画像の闕下呈示を行った場合、正解画像を呈示した影響は問題解決時に持続するののかについて、被験者を 3 条件に分類することで検討した。

結果は統制群と比べてヒント画像呈示群と上書き画像呈示群の解決者の人数は増加しており、この差は有意傾向となっていた。しかし闕下呈示を行った両群における解決者の人数には、差が見られなかった。このことから複数の情報を連続で闕下呈示したとしても、上書きは発生していなかったということが示された。これは鈴木・福田 (2013b) の結果は、上書きが発生したことに起因するものではないということを意味している。

また、ヒント画像呈示群と上書き画像呈示群における正解画像の闕下呈示の時間の長さには倍の差があったにも関わらず、両者の解決人数には差がみられなかった。このことから、闕下呈示された情報は呈示時間の長さによる影響を受けないことが考えられる。また川上・吉田 (2011b) や川上・吉田 (2011a)

は、単一の刺激よりも刺激そのものの複数の側面を闕下呈示した時の方が、単純接触効果が強かったことを報告している。このことは今後の研究を進める上で、ヒント画像呈示群と上書き画像呈示群において解決人数に差が無かったことや、上書き画像呈示群のみ対象制約、関係制約の共に緩和率が約 10% も上昇していたことと密接に結びついて行く可能性が考えられる。

しかし今回の結果のみをもって人間の潜在システムにおいて、上書きという現象が起こらないと断定するのはやや早計である。鈴木・福田 (2013b) では 3 枚の断片的な刺激画像を用いたのに対し、本研究では完成した 2 枚の刺激画像で闕下呈示を行った。そのため、数が少なかったために容量オーバーを起こすほどの負荷がかからなかった可能性が考えられる。また呈示された複数の情報の全てが活性化されていた可能性も否定できない。他にも上書きが起こるには呈示時間が短すぎた可能性も考えられるだろう。今後はこれらの点も踏まえた上で、呈示する情報の種類や時間を段階的に統制し、どの時点で、あるいはどの程度、闕下呈示された情報が活用されているのかを検証していく必要がある。

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。なお使用した CFS のプログラムは東京大学の宮田裕光先生の作成したものを岩波空氏による改良を加えることで完成したものであり、青山学院大学教育人間科学部心理学科の卒業生である池田優氏には CFS のテスターをはじめとした多岐にわたる協力を得た。また査読者の御二人には、本研究に関する非常に有益なご指摘を頂いた。そして実験および予備実験にご協力頂いた 180 名の被験者の皆様と、被験者を募集する際に協力をして頂いた方々に心よりの謝意を示したい。

文献

- [1] Baddeley, A. (1992). "Working memory", *Science*, **255**, 556-559.
- [2] Carmel, D., Arcaro, M., Kastner, S., Hasson, U. (2010). "How to create and use binocular rivalry", *Journal of Visualized Experiments*, **45**, 1-10.
- [3] 苧坂 満里子: 脳のメモ帳 ワーキングメモリ, 新曜社, 東京 (2002)
- [4] 服部 雅史・柴田 有里子 (2008). "洞察問題解決における潜在認知とメタ認知の相互作用: 9点問題の場合", *日本認知科学会第25回大会発表論文集*, 156-159.
- [5] 服部 雅史・鈴木 宏昭 (2012). 高次認知処理の自働性とコントロール(ワークショップ企画). 日本認知科学会第29回大会
- [6] Hassin, R. R., Bargh, J. A., Engell, A., & McCulluch, K. C. (2009). "Implicit Working Memory", *Consciousness and Cognition*, **18**, 665-678.
- [7] Hattori, M., Steven, A. S., Orita, R. (2013). "Effects of subliminal hints on insight problem solving", *Psychon Bull Rev*, **20**, 790-797.
- [8] 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*, **5**, 69-79.
- [9] Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). "The capacity of visual working memory for features and conjunctions", *Nature* **390**, 279-81.
- [10] 西村 友・鈴木 宏昭 (2004). "洞察問題解決の制約緩和における潜在的情報処理", *日本認知科学会第21回大会発表論文集*, 42-43.
- [11] 川上直秋・吉田富二雄 (2011a). "閾下単純接触の累積的効果とその長期持続性", *心理学研究*, **82**, 345-353.
- [12] 川上直秋・吉田富二雄 (2011b). "多面的単純接触効果—連合強度を指標として—", *心理学研究*, **82**, 424-432.
- [13] Kawakami, N., & Yoshida, F., (2015). "Perceiving a story outside of conscious awareness: When we infer narrative attributes from subliminal sequential stimuli", *Consciousness and Cognition*, **33**, 53-66
- [14] 城戸 楓・牧岡 省吾 (2009). "両眼視野闘争下における言語認知のプライミング効果", *日本認知科学会第26回大会発表論文集*, 104-107.
- [15] 城戸 楓・牧岡 省吾 (2010). "フラッシュサプレッションを用いた両眼視野闘争下での文字情報の処理過程", *日本認知科学会第27回大会発表論文集*, **27**, 1-23
- [16] Siegler, R. S. (2000). "Unconscious insights", *Current Directions in Psychological Science*, **9**, 79-83.
- [17] 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*, **20**, 353-367.
- [18] 鈴木 宏昭・福田 玄明 (2013). "部分解の継時的な閾下呈示が洞察問題解決に与える影響", *日本心理学会第77回大会発表論文集*, **77**, 822.
- [19] Suzuki, H., Fukuda, H., Miyata, H. & Tsuchiya, K. (2014). "Exploring the unconscious nature of insight using continuous flash suppression and a dual task", *In Proceeding of the 36th Annual Conference of Cognitive Science Society*, 2955-2960.
- [20] 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*, **12**, 74-88.
- [21] Tsuchiya, N., & Koch, C. (2005). "Continuous flash suppression reduces negative afterimages", *Nature Neuroscience*, **8**, 1096-1101.