

洞察問題における課題と認知的負荷の相互作用

Interaction Between Task and Cognitive Load in Insight Problem Solving

小田切 史士[†], 山田 優志[‡], 鈴木 宏昭[§]
Hitoshi Otagiri, Yuushi Yamada, Hiroaki Suzuki

[†] 青山学院大学社会情報学研究科, [‡] 青山学院大学教育人間科学部, [§] 青山学院大学
Graduate School of Social Informatics, College of Education, Psychology and Human Sciences,
Aoyama Gakuin University
chrono_brake@hotmail.co.jp

Abstract

Recent studies on insight problem solving have demonstrated an interesting relationship between insight and working memory capacity (WMC). While some research showed that WMC positively related to the performance in insight problem solving, others showed the opposite. This study aims at exploring this controversial issue, with the special focus on the relation between the task characteristics (visual vs. verbal) and the load on the components of working memory (visuo-spatial sketchpad vs. phonological loop). The results showed that the load on the visuo-spatial sketchpad impairs a spatial insight problem, while that on the phonological loop does a verbal one. These results were discussed in terms of the special process view and the business-as-usual ones of insight problem solving.

Keywords — Insight problem solving, Working memory, Dual task, Phonological loop, Visuo-spatial sketchpad

1. 洞察問題解決

1.1 Working Memory と洞察問題解決

洞察問題解決とは非定型的な解法の発見が必要とされる問題で、解決時には閃くような印象を伴う創造的問題解決のことを指す。閃きは当初、The Wizard Merlin perspective と呼ばれるなど [1], 人間の意識とは異なるいずこかから解が生じる神秘的な現象であり、実験的に検討することが不可能と考えられていた。しかし 90 年代に入ると、制約緩和 [2][3] などの理論が生まれ、洞察は実験的に検討することが可能であることが示されていった。そして近年では Working Memory を媒介として、洞察は Business-as-Usual view と Special-Process view と呼ばれる 2 つの考え方による論争が生じている。Business-as-Usual view とは洞察問題も通常の問題解決と同様、意識上で徐々に解決へと近づいていくとする立場であり、WM への負荷は解決を悪化させるという考え方である。対して Special-Process view とは、洞察は意識外における潜在的な処理過程に依存するという立場であり、WM への負荷は解決に影響を及ぼさないとするものである。ただし近年では WMC が低い、あるいは負荷のかかっている人間は手がかりとなる情報を無意識下で利用しやすくなることが指摘されており [4], 負荷によって解決が促進するのであれば、それは Special-Process view

の立場を支持するものであると考えられる。

しかし負荷と容量のどちらの方法にせよ、現状は一貫した研究結果が得られていない状況にある。例えば WMC の高い方が 9 点問題の解決に至りやすいという事例が報告されている [5]。しかしその一方で、20 近くの数の洞察問題と中央実行系の注意の切り替え能力との関係を調べたところ、両者には相関関係は見られなかったという事例も報告されている [6]。また WMC 容量が小さい時の方が遠隔連想テスト (RAT: Remote Associates Test) を解決しやすいケースも存在することが報告されている [7]。

また負荷との関係を検討する場合も同様である。RAT の最中に数列を保持させておくと、保持する桁数が大きい時の方が解決を阻害すると報告されている一方 [8], 反対に構音抑制や音楽の同定課題などで負荷をかけると、10 コイン問題のような言語を介さない問題の解決が促進するという事例も報告されている [9][10]。

1.2 問題解決と WM の相互作用

一貫した結果が得られない理由として考えられるのは、使用する洞察課題と測定する WMC, あるいは負荷の性質との相互作用の影響を考慮した事例が少ないことが挙げられる。Working Memory の構成要素である音声情報を扱う音韻ループ、視覚的情報を扱う視空間スケッチパッド、それから注意資源の割り当てを担当する中央実行系にはそれぞれ、個別の容量が存在すると言われている [11]。そのため使用する洞察課題が解決の際に必要な容量が音韻ループなのか、あるいは視空間スケッチパッドなのかということ、測定する WMC やかける負荷がどの構成要素に対するものなのかは非常に重要な問題である。

例えば言語的な洞察問題である RAT であれば、解決には音韻ループの容量が割かれていることが考えられ

るが、この時 WM への負荷も音韻ループにかかっていると、容量オーバーを起こして解決が阻害されることが考えられる。対して 10 コイン問題のような視覚的な操作を必要とする洞察問題を用いた場合、視空間スケッチパッドの容量が割かれていると思われるが、この時に音韻ループに負荷をかけたとしても、割かれる容量が異なる部位となるため、解決を阻害しないと考えられる。

そこで本研究では二重課題を用いて、音韻ループに負荷をかける場合と、視空間スケッチパッドに負荷をかける場合における洞察問題解決時の影響を比較する。また使用する問題も実験 1 では視覚的な洞察課題を用いるが、実験 2 では言語的なものを用いて検討を行う。つまり負荷と洞察問題がそれぞれ音韻ループに関与する場合と、視空間スケッチパッドに関与する場合の相互作用を検討することで、どのような負荷と問題の組み合わせの時に解決が阻害、促進、あるいは無関係となるのかを検討する。

2. 実験 1

2.1 実験参加者

青山学院大学に通う大学生42名を分析対象とした。ランダムに14名ずつ、統制群、言語的負荷群、視覚的負荷群のいずれかに振り分けた。

2.2 課題・装置

視空間性の洞察問題として、Cunningham et al. [12] の 12 コイン問題を修正したものを用いた (図1)。この課題は一辺につき4枚ずつコインを並べることがを求める課題であり、本来の正解は、六角形の各角にコインを2枚ずつ重ねることである。ただし本研究では小出・鈴木 [13] に倣い、重ねることを禁じる旨を課題文に付け加える修正を施している。そのため正解に至るためには辺の上ではなく、六角形の各角に接するようにコインを配置し、また内と外で挟む必要がある。しかし問題解決者は、辺の上にコインを一列に並べてしまうことから抜け出すのが容易ではなく、解決が困難となる課題である。課題はiPadの画面上に表示され、大きさはコインが直径55ピクセル、六角形が縦480ピクセル、横415ピクセルであり、各コインはドラッグによって操作することが可能となっていた。また画面の下方には課題の説明文が表示された。

言語的負荷群に対しては、音韻ループへ負荷をかけ

ることを目的として、10種類の5桁の数列が用意された。それらのうちの1つがランダムに選ばれ、15秒ごとに iPad の画面全体を切り替える形で提示された。実験参加者は数列が表示される度に、1つ前に見た数列と現在提示されている数列が同じかどうか判断することが求められた。

また視覚的負荷群に対しては、視空間スケッチパッドへの負荷を目的として、10種類のデーヴァナーガリー文字 (図2) の中から1つがランダムに選ばれ、15秒ごとに iPad の画面全体を切り替える形で提示された。こちらでも実験参加者は、1つ前に提示されたデーヴァナーガリー文字が現在提示されている文字と同じかどうか判断することが求められた。なお保持の際に、音声化することで視空間スケッチパッドではなく、音韻ループへの保持に変わってしまう可能性を排除するために、使用したデーヴァナーガリー文字は、特徴の言語化が困難な形状のみを採用した。

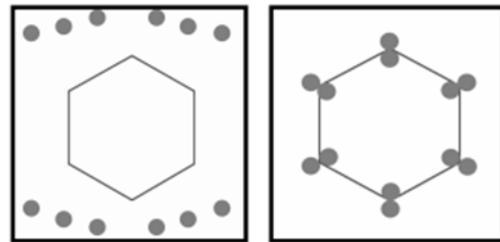


図1 実験課題 (左図が初期状態. 右図は正解配置)。



図2 使用したヴァナーガリー文字

2.3 手続き

言語的負荷群と視覚的負荷群に割り振られた実験参加者にはまず実験全体の趣旨として、定期的に提示される数列 (視覚負荷群の場合は画像) を記憶しつつ、問題を解くことを伝えた。続いて12コイン問題のルールとして、制限時間6分の間にコインを重ねることなく、

各辺にそれぞれ4枚ずつ並べる方法を探す課題であることを伝えた。また問題に挑戦中、15秒ごとに数列（視覚的負荷群は画像）が画面上に現れるため、1つ前に見た数列（画像）と今見た数列が同じものかどうかをその都度、口頭で答えるように求めた。その後、問題解決に成功するか、6分が経過した時点で実験は終了とした。

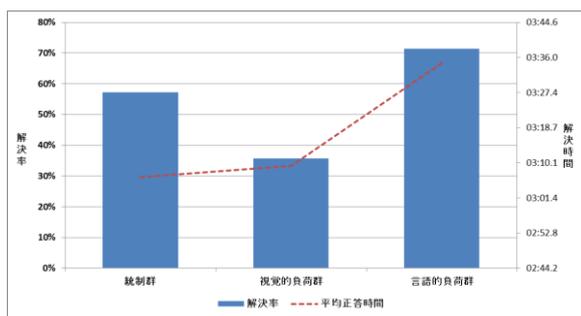
統制群に対しては6分間の間、パズルに挑戦する旨を伝え、12コイン問題のルールについて説明した後に、15秒毎にiPadの画面が真っ白なものに切り替わるため、この画面が出ている間は問題を解こうとしないように指示した。負荷有りの2群と同じく、6分以内に問題を解決するか、制限時間を迎えた時点で実験を終了とした。

2.4 結果

条件毎の解決者数は言語的負荷群が10人、視覚的負荷群が5人、統制群が8人であった。3群の自力解決者数に対して χ^2 検定を行ったところ、解決者数に差は見られなかった。

続いて条件毎の解決者の平均解決時間は言語的負荷群が3分34秒、視覚的負荷群が3分9秒、統制群が3分6秒となり、条件を独立変数、平均解決時間を従属変数とする一元配置分散分析を行ったが、こちらでも差は見られなかった。

図3 実験1 条件毎の解決率。



2.5 考察

実験1では二重課題を用いて音韻ループへ負荷をかけた場合（言語的負荷群）、視空間スケッチパッドへ負荷をかけた場合（視覚的負荷群）、何も負荷をかけていない場合の3つの条件における、視空間的な洞察問題の成績への影響の比較を行った。その結果、解決者数と平均解決時間のどちらにおいても有意差は見られなかった。

しかし統計的に差は見られないものの、解決者数の順位は言語的負荷群、統制群、視覚的負荷群の順に多く、また言語的負荷群と視覚的負荷群における人数の差は、二倍にまで広がる結果となった。このことを踏まえると、用いる負荷がWMの構成要素のどこにかかるかと、使用する洞察問題の性質が言語的なのか視覚的なものなのかによる相互作用によって、解決への影響が変化することが示唆されたと言えるだろう。ただしこれが音韻ループへの負荷によって解決が促進されたのか、はたまた視空間スケッチパッドへの負荷によって解決が阻害されたのかは、実験1の結果から判断することは難しい。

続いて実験2では、洞察問題の性質を視空間的なものから言語的な性質を有するものに変えた上で、音韻ループへ負荷をかけた場合、視空間スケッチパッドへ負荷をかけた場合、何も負荷をかけていない場合の3条件における解決への影響の違いを検討する。

3. 実験2

3.1 実験参加者

実験1の時に参加した42名が実験2でも分析対象となった。実験1で統制群であった者はそのまま統制群として参加したが、負荷有りの二群に関しては、負荷に対する慣れの可能性を排除するために、負荷を入れ替える形で実験を行った。

3.2 課題・装置

言語的な洞察課題として、寺井・三輪 [14] 作成の日本語版RATから6題を採用した。RATとは、3つの言葉に共通した要素を持つ言葉を想像して答える課題である。日本語版RATの場合は3つの漢字を与え、それらの漢字と熟語を作ることのできる、共通した漢字1字を考えさせる問題となっている。寺井・三輪 [14] のRATは、問題語の下にフィラー語が1字存在する状態で提示され、実験参加者はフィラー語を無視して、3つの問題語に共通する1語を回答することが求められる。図4の例題であれば、問題語となる「倒・両・独」の下にそれぞれ、フィラー語として「配・業・醸」の3字が接続した状態で提示され、実験参加者は「立」を回答することが求められる。また寺井・三輪 [14] のRATは、フィラー語と問題語の間のチャンク（外的な刺激や心的概念のまとまりの良さ）の強度によって、難易度を調整することが可能になっており、今回採用した6題は、フ

イラー語と問題語の間に意味的なチャンクがないものの中から、解決率が60%程度のものを採用した。また6題のうち最初の1題は、実験参加者にRATを理解させるための例題として利用した。使用したRATは全てノートパソコンのディスプレイに提示される形式であった。

負荷に関しては言語的負荷、視覚的負荷ともに実験1と同一のものを採用し、15秒毎にパソコンの画面全体を切り替える形で提示された。

例題：倒配・両業・独醸	正解：倒立・両立・独立
問1：監晩・審景・探師	正解：監査・審査・探査
問2：連屑・氷書・団録	正解：連結・氷結・団結
問3：怪度・筆近・商別	正解：怪談・筆談・商談
問4：契存・好願・待雨	正解：契機・好機・待機
問5：持語・接期・断夜	正解：持続・接続・断続

図4 使用した日本語版RATの一覧。

3.3 手続き

実験1の終了後、実験参加者をノートパソコンの置かれたテーブルの前へと移動させ、次の問題はディスプレイに提示されるが、大まかな流れは実験1と同様であることを説明した。またこの時、負荷有りの群に割り振られた者には、記憶課題の内容が画像（あるいは数列）に変化することも伝えた。その後、これから取り組ませる問題のサンプルとして、例題のRATをパソコンのディスプレイに提示し、課題の説明を行った。また回答は口頭で出来上がる熟語を全て答えるように求めた。全体としての制限時間は5分であり、各RATの制限時間はそれぞれ1分ずつとした。

3.4 結果

各群のRATの平均解決数は言語的負荷群が3.21個、視覚的負荷群が4個、統制群が3.57個となった。条件を独立変数、平均解決個数を従属変数とする一元配置分散分析を行ったところ、条件毎の解決個数の差は有意傾向となり ($F(2,41) = 2.50, p < 0.1$)、効果量は $\eta^2 = .11$ であった。多重比較の結果、言語負荷群と視覚負荷群の平均解決個数の差が、有意傾向であることが示唆された。

続いて各群の解決者の平均解決時間は言語的負荷群が17.95秒、視覚的負荷群が18.30秒、統制群が16.96秒となり、条件を独立変数、平均解決時間を従属変数とする一元配置分散分析を行ったところ、解決時間に差は

見られなかった。

3.5 考察

実験2では言語的な洞察問題を用いて、実験1の時と同様に言語的負荷群、視覚的負荷群、統制群の3つの条件の成績を比較した。その結果、実験1の結果とは対照的に、視覚的負荷群の成績が最も高く、逆に言語的負荷群の成績が最も低いものとなり、その差は有意傾向であった。

この結果は実験1の時と同様に、洞察課題と負荷の性質の相互作用が成績に影響することを示唆している。即ち、洞察問題の性質とWMの構成要素のどこに負荷をかけるかの組み合わせによって、解決への影響が変化すると言える。具体的には、問題解決と負荷の両方において、同じWMの構成要素の容量を要求してしまう状況下では解決が上手いかず、それぞれが異なるWMの構成要素の容量を要求する場合においてはその限りではない。

4. 総合考察

本研究は二重課題を用いて、音韻ループに負荷をかける場合と、視空間スケッチパッドに負荷をかける場合における、言語的な洞察課題または視空間的な洞察課題への解決時の影響を比較した。実験1では統計的に有意な差は得られなかったものの、視空間的な洞察問題解決を用いる場合は、音韻ループに負荷をかけた時の方が視空間スケッチパッドに負荷をかけた時よりもより良い成績が見られた。また実験2では言語的な洞察問題を利用したところ、今度は視空間スケッチパッドに負荷をかけた時の成績の方が、音韻ループに負荷をかけた時よりも優れた結果となり、その差は有意傾向となった。

しかし両実験ともに統制群との間に差が見られていないことから、この結果が従来のWMと洞察問題解決との関係を検討した研究にしばしば見られる、負荷が解決を促進した事例と言えるのか、または解決を悪化させた事例と言えるのか、それとも負荷と問題の組み合わせによってはその両方が起こり得るのかについては、判断が難しいところである。この点に関しては各群における人数の少なさや、実験1における解決時間の短さ、実験2で使用したRAT問題の数の少なさが影響していた可能性が考えられる。今後これらの点を改善する形で更なる検証を行うことで、統制群に対する

差を示していく必要があるだろう。

ただし、あくまで参考程度には留まるが、本研究と近い実験形式の研究例をいくつか取り上げて考えると、本研究の結果は、負荷による促進効果が生じていたと言える可能性が高い。例えば小田切・小出・鈴木 [15] では同じ修正版 12 コイン問題に取り組ませる際に、数字の暗唱を並行する形で WM に負荷をかけて実験を行った。その結果、解決者数に差は見られなかったものの、制約の緩和率が高まっており、行為レベルでは負荷によってより良い選択がされやすくなっていたことを指摘している。また Gilhooly et al. [16] は言語的あるいは視空間的な創造的課題（アイデアを出来るだけ沢山生成する類のもの）に取り組ませる際に、課題の途中で別の課題に取り組ませる孵化期間を挟んでから、再度課題に取り組ませる実験を行っている。その結果、アイデアの生成数や生成したアイデアそのものの評価の高さは、言語的な創造的課題の時には視空間的な作業を孵化期間に行ったものの成績が他の群よりも有意に優れており、またこの時、孵化期間無し群と言語的な作業を行った群の間には、差が見られていない。逆に視空間的な課題の時には言語的な作業を行ったものが最も優れる結果となり、孵化期間無し群と視空間的な作業を行った群の間には差が見られないものであった。彼らはこの結果から課題から離れている孵化期間であっても、人間の潜在処理は課題への挑戦を継続しており、またその際には WM の容量を用いている可能性を指摘している。そのため孵化期間中に、課題と同じ性質の作業に容量を割いてしまうと、潜在処理過程が十分に機能できなくなっていたと考えられる。彼らの実験は WM の容量を消費させるタイミングが課題に取り組んでいる最中ではないため、一概に同一視することはできないが、WM と創造性の相互作用を検討した事例として見ると、本研究の結果に非常に類似したものであると言えるだろう。

また、本研究の結果には別の解釈の余地が残されている点には留意しなくてはならない。例えば今回、実験 1 では言語的負荷群の成績が最も優れており、実験 2 では視覚的負荷群の成績が最も優れたものとなった。しかし本研究の実験参加者は実験 1、実験 2 ともに同じ 42 名の大学生であり、また負荷に慣れてしまう可能性を避けるため、実験 1 と 2 ではかける負荷を入れ替える形で実験を行った。そのためこの結果は、実験 1 では言語的負荷群、実験 2 では視覚的負荷群に割り当てられた 14 名が偶々、洞察問題に秀でていた可能性が

存在している。また本研究では言語的負荷には 5 桁の数列を用いたのに対して、視覚的負荷群ではデーヴァナーガリー文字が 1 文字だけ画面上に表示される形式を採用した。そのため視覚的負荷が言語的負荷と比較して、負荷が軽くなってしまっていたことが何か結果に影響を及ぼしていたかもしれない。ただし 1 文字とはいえデーヴァナーガリーは日本人にとっては馴染みが薄く、奇異な形状をしたものであることを考慮すると、たった 1 文字であってもそれなりの負荷がかかっていたのではないかと推測される。これらの点も踏まえて、今後は各群の実験参加者の選出や、どの程度のチャンクを用いて負荷をかけるのかを統制した上で、検証を行っていく必要があるだろう。

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。本研究で用いた 12 コイン問題は、小出諒氏が開発したものを利用している。また査読者の御 2 人には、本研究に関する非常に有益なご指摘を頂いた。

参考文献

- [1] Seifert, C. M., Meyer, D. E., Davidson, N., Patalano, A. L., & Yaniv, I. (1995). Demystification of cognitive insight: Opportunistic assimilation and the prepared-mind perspective. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The Nature of Insight*, 65–124. Cambridge, MA: MIT Press
- [2] 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*, **46**, 211-232.
- [3] Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H., & Rhenius, D. (1999). Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem-solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **25**, 1534 – 1555.
- [4] 西田 勇樹・服部 雅史・織田 涼 (2018). 洞察問題解決におけるアイデア生成—抑制メカニズムに関するレビュー—, *立命館人間科学研究*, **37**, 91-102.
- [5] Chein, J. M., Weisberg, R. W., Streeter, N. L.,

- & Kwok, S. (2010). Working memory and insight in the nine-dot problem. *Memory & Cognition*, **38**, 883–892.
- [6] Gilhooly, K. J., & Fioratou, E. (2009). Executive functions in insight versus non-insight problem solving: An individual differences approach. *Thinking & Reasoning*, **15**, 355–376.
- [7] Ricks, T. R., Turley-Ames, K. J., & Wiley, J. (2007). Effects of working memory capacity on mental set due to domain knowledge. *Memory & Cognition*, **35**, 1456–1462.
- [8] Ball L. J., Marsh J. E., Litchfield D., Cook R. L., Booth N. (2015). When distraction helps: evidence that concurrent articulation and irrelevant speech can facilitate insight problem solving. *Thinking & Reasoning*, **21**, 76–96.
- [9] 服部 雅史・織田 涼 (2013) . 認知的負荷が洞察をもたらすとき：洞察問題解決におけるプライミングと二重課題の効果, 日本心理学会第77回大会.
- [10]Baddeley, A. (2007). Working Memory, Thought, and Action. Oxford. University Press. (井関龍太・斎藤 智・川崎 恵里子 (訳) (2012). 『ワーキングメモリ：思考と行為の心理学的基盤』誠信書房) .
- [11]Baddeley, A. (2007). Working Memory, Thought, and Action. Oxford. University Press. (井関龍太・斎藤 智・川崎 恵里子 (訳) (2012). 『ワーキングメモリ：思考と行為の心理学的基盤』誠信書房) .
- [12]Cunningham, J. B., MacGregor, J. N., Gibb, J., & Haar, J. (2009). Categories of insight and their correlates: An exploration of relationships among classic type insight problems, rebus puzzles, remote associates and esoteric analogies. *Journal of Creative Behavior*, **43**, 262-280.
- [13]小出 諒・鈴木 宏昭 (2016). 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. 2016年度日本認知科学会第33回大会発表論文集.
- [14]寺井 仁・三輪 和久(2013) . 日本語版 Remote Associate Test の作成と評価. *心理学研究*, **84**, 419-428.
- [15]小田切史士・小出諒・鈴木宏昭 (2017). 負荷が制約緩和に与える影響. 日本認知科学会第34回大会発表論文集. 703-709.
- [16]Gilhooly, K. J., Georgiou, G., & Devery, U. (2012). Incubation and creativity: *Do something different*. *Thinking & Reasoning*, **19**, 137-149.