閾下情報提示を用いた
洞察における潜在的情報処理過程の解明

課題番号：18500204

平成 18～19 年度科学研究費補助金
基盤研究 (C)　研究成果報告書

平成 21 年 3 月

研究代表者　鈴木宏昭
（青山学院大学文学部教授）

はしがき

研究種目名

基盤研究（C）（課題番号：18500204)

研究期間

平成 18 年度〜平成 19 年度

研究課題名

閾下情報提示を用いた洞察における潜在的情報処理過程の解明

研究組織

- 研究代表者：　鈴木 宏昭（青山学院大学文学部教授）
- 研究分担者：　薬師神 玲子（青山学院大学文学部准教授）

交付決定額（配分額）

	直接経費	間接経費	計
平成 18 年度	1,800,000	0	1,800,000
平成 19 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
計	1,900,000	330,000	3,230,000

研究発表

雑誌論文

- 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 13, 136 - 138.

- Ueda, K., Konno, M., Fukuda, H. & Suzuki, H. (2007) Brain mechanism for insight problem-solving: A NIRS study. Annual Meeting of Cognitive neuroscience, New York.
- Suzuki, H. & Ohnishi, H. (2007) Non-random deviations from the power law of practice. Proceedings of the International Symposium on Skill Science 2007, 161 ― 166.
- Suzuki, H. & Yokote, N. (2007) Time course of gesture in problem-solving. Studies in Perception and Action IX, 64 - 67.
- 鈴木宏昭・竹葉千恵・大西仁 (2008) 「スキル学習におけるスランプ発生に対する事例分析的アプローチ」 人工知能学会誌, 23, 86 - 95.

学会発表

- 鈴木宏昭 (2006) 「洞察問題解決における潜在学習」日本心理学会第70 回大会発表論文集, 913.
- 鈴木宏昭・竹葉千恵・大西仁 (2006) 「スキル学習のダイナミクスの解明に向けて (3)」. 日本認知科学会第 23 回大会発表論文集, 40-41.

図書

- 鈴木宏昭 (2006) 「認知の創発的性質」 鈴木宏昭 (編)「知性の創発と起源」オーム社.
- 鈴木宏昭 (2006) 「知性の創発と起源 (編著)」オーム社.
- 鈴木宏昭 (2006) 「学習と発達における揺らぎ」 鈴木宏昭 (編)「知性の創発と起源」オーム社.
- 鈴木宏昭 (2006) 「問題解決」 海保博之・楠見孝 (編)「心理学総合事典」 朝倉書店
- 鈴木宏昭 (2006) 「知識の獲得と転移」 海保博之・楠見孝 (編)「心理学総合事典」 朝倉書店
- 鈴木宏昭 (2007) 「問題解決の基本図式」 稲垣佳世子・鈴木宏昭・大浦容子 「新訂認知過程研究: 知識の獲得とその利用」 放送大学教育振興会.

- 鈴木宏昭 (2007)「創造的問題解決」稲垣佳世子・鈴木宏昭・大浦容子「新訂認知過程研究: 知識の獲得とその利用」 放送大学教育振興会.
- 鈴木宏昭 (2007) 「外的資源を用いた問題解決と学習」 稲垣佳世子・鈴木宏昭・大浦容子 「新訂 認知過程研究: 知識の獲得とその利用」 放送大学教育振興会.

目 次

第 1 章　本研究の概要 **1**
1.1　本研究の目的 1
1.2　本研究の位置づけ 1
1.3　本研究の独自性 3
1.4　本報告書の構成 4

第 2 章　制約の動的緩和理論 **7**
2.1　洞察問題とは 7
2.2　洞察問題研究の流れ 7
2.3　制約の動的緩和理論 9
2.3.1　対象レベルの制約 10
2.3.2　関係の制約 11
2.3.3　ゴールの制約 11
2.3.4　制約の緩和 11
2.3.5　アルゴリズム 12
2.4　洞察の個人差からみた制約の動的緩和理論の妥当性 13
2.4.1　方法 14
2.4.2　結果と考察 16
2.4.3　実験のまとめ 21
2.5　ゴール制約から見た制約の動的緩和理論の妥当性 22
2.6　実験 1 23
2.6.1　方法 24
2.6.2　結果 25
2.6.3　考察 26
2.7　実験 2 26
2.7.1　方法 27
2.7.2　結果と考察 28
2.7.3　考察 29
2.8　総合討論 30
2.8.1　理論の妥当性と拡張可能性 30
2.8.2　制約論的アプローチ 31
2.8.3　外的資源を用いた問題解決 32

第 3 章　潜在学習としての洞察　34
3.1　洞察における意識と行動との乖離 34
3.2　無意識的な評価 37
3.3　閾下刺激の処理 39
3.4　研究仮説 42

第 4 章　閾下刺激を用いた洞察研究　43
4.1　実験 1 43
4.1.1　方法 44
4.1.2　結果 46
4.2　実験 2 51
4.2.1　方法 54
4.2.2　結果 55
4.3　考察 58
4.4　展望 59

第 5 章　閾下刺激による選好の変化　61
5.1　問題 61
5.2　方法 62
5.3　結果 63
5.4　考察 65

第 6 章　閾上刺激を用いた洞察研究　67
6.1　問題 67
6.2　方法 68
6.3　結果と考察 69

第 7 章　問題解決中の閾下刺激呈示　71
7.1　本研究の目的 71
7.2　方法 72
7.3　結果 73

第 8 章　技能の熟達過程における潜在レベルの変化　77
8.1　はじめに 77
8.2　練習のベキ法則 78
8.3　スキル学習におけるスランプ 79
8.4　単純な組み立て課題におけるスランプ 80
8.4.1　実験の概要 81
8.4.2　状態空間法による分析 83
8.5　スランプの発生過程の微視的分析 85

8.5.1 スキルのコンポーネントとその実行環境 86
8.5.2 環境の再構築の微視的分析 87
8.6 討論 91
8.6.1 スランプがスキルの熟達に対して持つ意義 91
8.6.2 スキルの熟達における環境の役割 91
8.6.3 スキルサイエンスにおける個人データの意義 92
8.7 まとめと今後の課題 93

引用文献 **95**

第1章　本研究の概要

1.1　本研究の目的

本研究では，洞察問題解決におけるひらめきが生じるメカニズムを明らかにすることを目指す．特に焦点を当てるのは，意識的なレベルでの「ひらめき」の把握と，行動上の変化との間の乖離である．我々自身の研究も含む多くの研究は，ひらめきの意識的把握のかなり前から行動上の変化が生じていることを報告している．さらに興味深いのは，こうした行動上の変化は多くの場合問題解決者には意識されていないということである．

この奇妙な乖離現象に対して，本研究は以下のような立場から解明を目指す．問題解決過程における行き詰まり段階において，失敗，部分的な成功を通して潜在的なレベルで学習が生じ，その結果ひらめきを阻害している認知的制約が徐々に緩和される．これによって初期には用いられなかった有効な操作が実行される確率が高まるが，そうした変化は潜在学習でよく見られるように被験者自身には意識されない．以上が，本研究の仮説である．すなわち，問題解決中の様々な試行は意識上は単なる失敗と見なされてしまうが，意識下では初期の不適切な制約の緩和という重要な役割を果たしている．こうした意識的な処理と，無意識レベルの処理双方の関与が，ひらめきの意識レベルの把握と行動との間の乖離現象を生み出すことを実験的に再現する．

1.2　本研究の位置づけ

洞察問題解決は，人間の認知の創造的側面をもっとよく表す活動の 1 つである．ゲシュタルト心理学がこの現象を最初に取り上げたが，現象の神秘的性質からかその後 1990 年代に至るまでは十分な研究がなされてきたとは言えなかった．しかし 1990 年代に入ると，標準問題解決アプローチ (Weisberg & Alba, 1981) 活性化拡散アプローチ (Ohlsson, 1992)，問題空間探索アプローチ (Kaplan & Simon, 1990)，制約論的アプローチなどの立場から，様々な研究者が洞察のプロセス，メカニズムについての研究を行い始めた．

これらの中で現在もっとも成功を収めているアプローチは制約論的アプローチである (Jimura, Komazaki, Matsuoka, Nakagawa, & Kusumi, 2000; Knoblich, Ohlsson, Haider, & Rhenius, 1999; 鈴木・開, 1997, 2003)．これに従えば，洞察における初期の行き詰まりは，いくつかの認知的制約が働き，問題解決者を不適切な方向に導いてしまうことにより生じるとされる．そして，ひらめきはこうした認知的制約が緩和されることにより達成されるということになる．

制約論的アプローチに基づく研究は，様々な洞察課題を用いて，初期の行き詰まりを生み出す制約を特定してきた．問題中に存在する情報のカテゴリー化に関係する制約，情報間の関係に関わる関係制約，そして問題のゴールを表現するゴール制約などである．また，いくつかの研究では制約の緩和についても，その要因が特定されつつある．たとえばゴール制約の明示化，失敗試行の評価，および失敗試行から既存の制約を変更する際の学習率などが，緩和に大きな影響を与えることが知られている (Suzuki, Miyazaki, & Hiraki, 1999; 鈴木・宮崎・開, 2003).

このように洞察という一見，神秘的な現象について多くの知見が得られ，その解明はかなりの程度成功していると言える．しかし未だ解決の糸口が見つからない問題も存在している．それはひらめきと意識との関係である．洞察は「気づき (realization)」，すなわち今までに気づかなかったことを意識化するという意味で用いられることがある (Schooler, Fallshore, & Fiore, 1995)．実際，科学的発見などにおける逸話的報告では，洞察が突然の意識化可能なように語られているものが多い．しかしながら，意識と洞察の関係はより複雑であることが知られている．第 1 に，問題解決を意識的に制御できるようなヒント情報を与えても，その効果は限定されている（あるいは全くない）ことが挙げられる (Weisberg & Alba, 1981)．第２に，洞察問題解決過程においてプロトコルなどの言語化を行わせると成績が低下することが知られている (Schooler, Ohlsson, & Brooks, 1993)．第３に，洞察の意識的把握より以前に，行動レベルで洞察が生じるケースがある (Siegler & Stern, 1998)．これと関連するが，第 4 に行き詰まり時期において，被験者は意識していない行動上の規則的変化がみられる (Suzuki, Abe, Hiraki, & Miyazaki, 2001).

これらの知見は洞察と意識あるいは無意識との間の複雑な関係を示している．特に重要なのは，無意識的，潜在的な処理の果たす役割である．問題解決は人間の高次認知機能を代表するものであり，一般に意識的なコントロールが可能なものとしてとらえられてきた．確かに，こうしたコントロールの重要性は否定されるべきではない．しかし問題解決のすべてが意識的にコントロールされるわけではない．特に洞察問題解決のように，被験者自身はどうしてよいのかがわからない状態が長く続き，その間に幾

度もの失敗が繰り返されるようなプロセスにおいては，自らの試行が生み出す知覚情報からの潜在的学習が生じている可能性はかなり高いと考えられる．このように意識的処理と，潜在的処理との２つのシステムを仮定する立場は，推論研究における二重過程理論 (dual process theory) にもっともはっきりと現れている (Evans, 2003; Sloman, 1996; Stanovich, 2005)．この理論では，前注意的で，連想的なシステム１と，よく考えられた，意識的ルールの適用を行うシステム２の２つのシステムを仮定し，推論における様々な効果を説明しようとしている．

本研究は，高次認知機能が意識的なルールの適用過程だけでなく，潜在的で，あまりうまく認知的にコントロールされていないプロセスを含むことを仮定する点で，二重過程理論と軌を一にしている．また本研究は，主に推論課題を中心にしてその適用が行われてきた二重過程理論を問題解決に拡張していくものとしてとらえることができる．さらに重要なのは，潜在システムの位置づけに関わるものである．意思決定の分野などにおいては，古くから人間の選択，判断におけるバイアスが盛んに行われてきていた (Kahneman, Slovic, & Tversky, 1982)．これらの研究は，各種のバイアスが無意識に選択，判断の過程に入り込み，人間の思考を歪ませることを指摘してきた．本研究では，潜在システムが顕在システムでは検知できない有益な情報を環境の中から抽出し，これによって人間を適切な方向へとガイドしている側面に焦点を当てる．また，潜在システムがこれらの情報を得ることにより，柔軟に変化する可能性を探究する．

1.3　本研究の独自性

これらのことから明らかなように，本研究は意識的なシステムだけでなく，問題解決中の学習によって動的にまた潜在的に変化するシステムの相互作用の観点から，創造的な問題解決における意識と行動の乖離を解明しようとする独自の立場に立つものである．以下，本研究の独自性を 3 点挙げる．

潜在処理と顕在処理の統合　本研究は，問題解決における顕在的処理と潜在的処理の関係を明らかにするものである．問題解決は人間の高次認知機能を代表するものであり，一般に意識的なコントロールが可能なもののとしてとらえられてきた．思考研究のもう一つの柱である推論の分野では，近年，前注意的で，連想的なシステム１と明示的な規則の適用を行うシステム２を想定して研究を進めるものが増えてきている．しかしながら，これらの研究では特定のプロセスにおいてどちらのシステムが支配的になるかという立場で行われており，２つのシステムの相互作用という観点は希薄である．本研究

では，問題解決の分野において，意識的な処理と無意識的な処理の協調的動作として問題解決プロセスをとらえるという，新しい観点を提供できる．

問題解決と学習の統合　問題解決過程における学習を取り上げることで，思考と学習を統合的に扱う．従来の問題解決研究は，既有の知識（スキーマ，メンタルモデル）などの適用による探索過程として，問題解決をとらえてきた．しかし，洞察問題解決のように，被験者自身はどうしてよいのかがわからない状態が長く続き，その間にいくどもの失敗が繰り返されるようなプロセスにおいては，自らの試行が生み出す知覚情報からの潜在的学習が生じている可能性はかなり高いと考えられる．こうした意味で，本研究は知識を獲得しつつ，問題を解決するという，問題解決のよりダイナミックな側面を明らかにすることができる．

新しい知識の創出過程の解明　本研究は，新たな知識の創造過程を扱うという特徴がある．前述したように，問題解決は既有の知識の適用過程としてとらえられてきた．しかし，スキーマやメンタルモデルのような既有の知識がどのようにして生み出されるのか，またそれはどのように改変されていくのかについては，不明の部分が多い．本研究では，問題解決を阻害する初期の認知的制約が，潜在的，顕在的処理を通して，いかに変化をするかを明らかにすることを通して，創造的認知一般に適用可能な知見を得ることが可能になる．

1.4　本報告書の構成

本報告書は以下のような構成である．2 章では，本研究が拠って立つ制約の動的緩和理論について論じた．この理論は，洞察問題解決とは初期の制約が失敗試行を通じて徐々に緩和されていくことと考える．この理論の概要を説明した後に，その妥当性を検証するために行われた洞察の個人差，および制約の緩和についての実験を報告した．洞察の個人差実験では，制約の動的緩和理論の構成要素である初期制約，試行の評価の違いが，洞察を素早く得る人とそうでない人を分けることが明らかにされた．制約緩和についての実験では，制約緩和の鍵となるゴールを外化することにより，洞察が促進されることが明らかにされた．これらの結果は，制約の動的緩和理論が洞察問題解決の様々な側面において適切な予測を行うことを示している．

3 章では，洞察と意識，無意識の関係について先行研究をレビューし，洞察が意識とは切り離された仮定である可能性が高いことをまず論じた．

そして，洞察問題解決過程では，試行を重ねる中で潜在学習が生じ，これが行為を無意識的に調整することで洞察が生み出されているという仮説を提案した．次に人間の視覚情報処理過程と，閾下知覚の観点から，この仮説の理論的妥当性を検討した．

4 章では，T パズルを題材として閾下ヒント情報を与えたときの洞察問題解決のパフォーマンスの分析を行った．もし洞察問題解決において潜在的な視覚情報処理とそこからの学習が行われているのであれば，閾下ヒント情報により，制約の逸脱が生じやすくなり，この問題を早く解決することが期待できる．実験の結果はこの仮説を肯定するものであった．閾下ヒント情報を与えられた被験者はそれについての意識は全くないにもかかわらず，より迅速に問題を解決することが出来た．またヒントとして呈示した閾下ヒント画像に類似した配置を多く行うことが明らかになった．

5 章では，閾下ヒント情報呈示の影響が洞察問題解決のどのプロセスに影響を与えるかを検討した．制約の動的緩和理論に従えば，閾下情報の影響は試行の評価段階に現れることが予測できる．そこで，閾下ヒント情報を与えたグループとそうでないグループに，パズル解決の途中段階の様々な配置の図形を見せ，その良さを評価させた．閾下でヒントを呈示されたグループはそうでないグループに比べてより早く問題を解決することが示されたが，評価課題の成績は２つのグループの間で全く差がなかった．このことは，閾下情報が評価段階で働くのではない可能性を示唆している．

6 章では，閾下呈示ではなく，閾上でヒント画像を呈示し，その影響がどの程度のものになるのか，また閾下呈示の時とどのような違いがあるのかを検討した．その結果，閾上のヒントは問題解決に促進的な影響を与えることが明らかになった．ただし，その効果は一般に考えられるほど強いものではないことも明らかになった．たとえば 20 パターン以上の適切な配置を見たグループにおいても，1/3 程度の被験者は問題を 15 分以内で解決することは出来なかった．また制約逸脱のパターンは閾下呈示の場合とは異なる可能性があることが明らかになった．

7 章では，問題解決の最中に閾下ヒント情報を与え，その影響を検討した．これまでの実験では閾下ヒント情報は問題解決の前，あるいは問題解決中に一度解決を中断した時点で与えられていた．こうした状況は，通常の問題解決状況とは異なっている．通常は問題を解いている最中に適切な配置がたまたま行われ，そこから学習が進んでいるはずである．本実験では，プロジェクタを複数台用いて閾下ヒント情報を被験者の問題解決場面に投影した．結果は仮説とは相反するものであった．閾下ヒント情報を与えられた群も，そうでない群もほとんどあらゆる指標において差が見られなかった．この結果の解釈は難しいが，問題解決場面に投影した閾下ヒント画像が問題解決を妨害するものとして働いてしまった可能性が存在す

る．また閾下ヒント画像がそれまでのものとは異なっていたことも関係するかもしれない．

8 章では，洞察問題とは異なるが，スキル学習を取り上げた研究を報告している．これを取り上げた理由は，洞察とスキル学習との類似性にある．単純な運動スキルについて非常に多数回の練習を重ねると，スランプがに陥る．その後練習を続けるとスランプを克服し，新しい段階へと進むことが知られている．これは洞察におけるインパスとその後のひらめきによく似ている．もう 1 つの類似点は，その無意識性である．学習者はなぜスランプに陥ったのか，またどうしてスランプを克服できたのかについての明確な意識的把握をしない場合が多い．これは洞察問題解決ときわめて類似した特徴ということが出来る．そこで，単純な組み立て作業を 2000 回以上繰り返し行わせた．分析の結果，スランプとそこからの脱出は，内的なスキルの熟達とそのスキルを行使する環境との間のミスマッチによる可能性が高いことが明らかになった．この結果を直接洞察問題解決の理論に対応づけることは出来ないが，外部環境との相互作用の重要性という共通の論点を見つけることが出来た．

謝辞

本研究は，青山学院大学文学部の鈴木研究室に所属した多くの学生との共同に基づいている．宮崎美智子，西村友，上原達朗，若生彩古，松浦誠，松島潤，竹葉千恵，松本光，市川源，坂上真帆ら，各氏の努力なしには，本計画を進めることは出来なかった．ここに深く感謝する次第である．

また以下の方々からの助言は研究にとってきわめて貴重なものであった．ここにお礼を申し上げる．大西仁（メディア教育開発センター），植田一博（東京大学），阿部慶賀（青山学院大学），清河幸子（中部大学），三輪和久（名古屋大学），諏訪正樹（慶應義塾大学），服部雅志（立命館大学），大森隆司（玉川大学），岡田浩之（玉川大学）．

第2章　制約の動的緩和理論

2.1　洞察問題とは

人間の認知の創発性を最も端的に表す活動の一つに洞察 (insight) がある．洞察問題とはその解決にひらめき，発想の転換を必要とする問題である．通常の解法ではインパス (失敗していきづまってしまうこと) に陥り，何度も失敗を繰り返すが，ある時に突然に解がひらめき一挙に解決に至る，これが典型的な洞察問題解決のプロセスである．

洞察にはいくつもの謎がある．洞察問題の難しさは用いる手続きの数の多さ，それらの複雑性にあるのではない．特に心理学で用いられる洞察課題の解は，人が未だかつて見たことも聞いたこともないようなものではない．ヒントが与えられれば直ちに解決できたり，解を聞けば即座に理解できる単純なものが多い．にもかかわらず，人は何度も何度も失敗を繰り返す．これが第一の謎である (Ohlsson, 1992).

第二の謎は同一の失敗の繰り返しである．いくかの洞察課題では，人は同じ失敗を繰り返すことが明らかにされている．通常の問題解決の場合，あるアプローチやストラテジーでうまくいかない時には別のものを試す．これは探索ベースの問題解決理論や失敗に基づく学習理論の基本的な前提である．しかし，洞察問題ではこうしたことは起きず，人は特定のやりかたに固執することがある．

第三に，人は解決にとって重要な情報を得ているのにそれを用いない場合があることが報告されている．傍目からは「ああできたな」と思うような場面でも，人はそれを無視して初期の状態に戻り，実りのないやりかたを繰り返す場合がある (Kaplan & Simon, 1990).

最後の謎は，ひらめきである．なぜ人は突然にひらめくのだろうか．何が人をひらめきに導くのだろうか．

2.2　洞察問題研究の流れ

洞察はゲシュタルト心理学者らによって前世紀の中盤に研究がなされた．彼らによれば，洞察の前には固着があり，洞察の瞬間には再構造化が起きているとした．しかし，これは現象の記述 (あるいは言い換え) に過

ぎない．何が再構造化されるのか，どのように再構造化されるのか，何が再構造化を促すのか，いずれについても納得のいく説明は与えられていない．その後の科学的心理学は，洞察の神秘的な性質，また科学的な研究の難しさから，ほとんど研究題材として取り上げられることはなかった．しかし 1990 年代にはいると，前節で述べてきた創発的認知研究の勃興により，再度注目を浴びるようになった (Smith, Ward, & Finke, 1995; Sternberg & Davidson, 1995; Ward, Smith, & Vaid, 1997).

この初期にはゲシュタルト心理学への明確な反論を試みた Weisberg & Alba (1981) の研究が印象的である．ゲシュタルト学派は，多義図形の反転と洞察を同一視し，インパスの状態から洞察の状態への非連続生を強調した．しかし，Weisberg と Alba は洞察が決して劇的な変化ではないことを主張した．たとえば 9 点問題についての決定的とも思えるヒントを与えても，そこから即座に解決に至る人間はほとんどいないことを明らかにした．彼らの研究は神秘化されてきた洞察を，通常の問題解決過程の延長上で捉えるべきであることを指摘したと言える．

Ohlsson (1992) は，問題表象とそこからの検索の問題として洞察を捉えようとした．彼の考えでは，不適切な記憶表象が作られることにより，不適切な解法への活性化が生じ，これによってインパスが生じるということになる．しかしながら彼の考え方は，なぜ不適切な表象が生み出されるのか，またなぜそれが克服されるのかを明確な形で示すことはなかった．

Kaplan & Simon (1990) は，問題空間内の探索ではなく，探索すべき問題空間自体の探索が必要とされることが，洞察問題の難しさを説明すると主張した．つまり，洞察問題の解決においては，問題記述により不適切な問題空間を探索してしまうように被験者が方向づけられてしまう．これがインパスの原因とされる．しかし，失敗を繰り返す中で，不変項が抽出され，これが別の問題空間への移行を促すとされる．Kaplan & Simon (1990) は，インパスから洞察へと至るメカニズムを特定しようとした点において，大きな貢献を行った．しかしなぜ人は不適切な問題空間を想定してしまうのかについて，一貫した説明を提供していない．

このような動向の中で，洞察問題解決について様々な立場からの研究が進められるようになってきた．これらの中で特に注目されているのが，制約とその緩和に基づく制約論的アプローチである．

人間は通常の問題解決を行う際に，すべての情報を逐一吟味，検討する手間を省くために何種類もの制約を持っている．制約は，問題状況に存在する原理的には無限の情報，あるいは推論過程において生み出される可能性がある膨大な数の意味のない仮説を排除するためのフィルタとして働いている．これによってリアルタイムで一定以上有効な推論や行為を行うことが可能になる．制約は，知覚処理 (Waltz, 1975)，言語獲得 (今井, 1997;

Markman, 1989)，類推 (Holyoak & Thagard, 1995) など様々な分野において，理論構築のための強力な概念装置として用いられてきた．

制約論的アプローチに従えば，洞察問題解決のプロセスは以下のようになる．通常の問題状況は制約を用いることによりうまく解決できる．しかし，洞察問題においては制約がネガティブに働く．制約は，洞察問題の表象を作り出す要素の選択において，解決に必要な情報が抜け落ちる，あるいは別の形で取り込まれる．これによって不適切な問題表象が生成され，結果として解決不能の状態に陥る．しかしこれらの制約が緩和されることで，解決に必要な情報が適切な形で取り込まれ，洞察に至ることになる．

しかし，これまでの制約論的アプローチには以下のような問題がある．第 1 の問題点は，制約の決め方が恣意的であり，単に問題の難しい部分を制約という言葉に置き換えたに過ぎないものがあるということである．たとえば，9 点問題では「枠内にとどまるという制約が存在する」などはその典型である (Ohlsson, 1992)．これでは制約という概念をわざわざ用いる必要はない．またこれと関連するが，取り上げた課題に固有な制約を導入するものもある．たとえば，(Knoblich et al., 1999) は彼らの取り上げたマッチ棒課題に固有な制約 (数字，演算子，等号に関わる制約) を導入している．これでは研究の拡張の可能性が全く存在しない．

第 2 の問題点は，問題解決中の変動を説明することが難しいという点である．問題解決者は洞察の直前になってはじめて制約を逸脱するわけではなく，解決のかなり前から制約を逸脱し，有効な情報を産み出していることが報告されている (Kaplan & Simon, 1990; MacGregor, Ormerod, & Chronicle, 2001)．こうした事実は，制約が一律に強固に働くのではなく，好み，あるいは弱い傾向性 (波多野・稲垣, 2003) であることを示している．したがって単に制約が働いているというだけではなく，その選択と適用についての再検討が必要となる．

第 3 の問題点は，緩和のメカニズムが述べられていないという点である．洞察問題解決の理論は固着とともにひらめきも説明する必要がある．多くの研究では制約が固着を産み出す源泉となっていることは明らかにしているが，それがどのように変化し，ひらめきをもたらすかについての明確なメカニズムを提案してはいない[1]．緩和を考えるときに重要なのは問題解決中の変化であるはずだが，多くの研究は時系列的な変化を取り上げず，問題の難易度予測をするに過ぎない．

[1]例外は Jimura et al. (2000) である．

2.3　制約の動的緩和理論

我々は一連の研究を通して，洞察問題解決が複数の制約[2]とその動的緩和プロセスとして理論化できることを明らかにしてきた．すなわち，初期のインパスは人間が標準的に用いる制約が不適切であるために生じる．しかし問題解決過程における失敗や部分的な成功から，これらの制約が緩和（制約強度の変化）され，制約を逸脱した行為の頻度が上昇する．そしてある時点で制約が特定の形で逸脱されると，洞察が生み出される．我々はこうした考えを制約の動的緩和理論としてまとめている．

問題で与えられる情報及び問題解決の過程で作られる問題表象には，基本的に対象，関係，ゴールの 3 つが含まれる．対象 (object) とは問題中で通常一つの名詞で表されるようなものである．関係 (relation) は，対象と対象を結びつける役割を果たす．ゴール (goal) は問題で達成すべき状態を指す．このことからすれば，洞察問題解決においては対象，関係，ゴールの 3 つの種類の制約が関与していることがわかる．以下，これらの 3 つの制約，及びその緩和について論じる．

2.3.1　対象レベルの制約

この制約は問題で与えられる対象のカテゴリー化のレベルを表現している．問題中の対象はさまざまなレベルでカテゴリー化可能である．たとえば,「金魚」は「ペット」,「魚類」,「脊椎動物」,「動物」,「和金」などさまざまなレベルのカテゴリーの事例と見なせる．しかし，人は，対象を表象する際，それが属するカテゴリー階層の中の基礎レベルでカテゴリー化することが知られている (Rosch, 1978)．また，図形に関していえば，基本的な置き方があることが知られており，3 角形であれば，そのいずれかの辺を基準線（あるいは地面）と平行になるように置く．こうした人間の自然な傾向性を対象レベルの制約と呼ぶ．この制約により，人は逐一すべてのカテゴリー化の可能性を考慮する必要がなくなり，認知的負荷が軽減される．ただし，制約は単一ではない．対象レベルの制約においても，複数の制約が存在し，それがその強度に応じ，確率的に選択される (詳しいアルゴリズムは後述する).

洞察研究において，Finke (1995) 及び Isaak & Just (1995) らは，この制約が impasse の主要な原因となることを指摘している．彼らによれば，洞察問題は問題中の情報を不適切な形でカテゴリー化させてしまうように作られており，これがひらめきを阻害しているということになる．たとえば，ろうそく問題 (Duncker, 1945) では，重要な意味を持つ画鋲の入った

[2]ここで制約とは，多様な情報，仮説の中から特定の仮説を選び出す生体の内的傾向性を指す (三宅・波多野, 1991; 鈴木, 2001).

箱は「物体」,「人工物」,「画鋲の箱」,「白い箱」などさまざまな形でカテゴリー化可能であるが，通常は単に「箱」とカテゴリー化され，これが洞察を阻むことになる．

2.3.2　関係の制約

この制約は問題で与えられる対象間のデフォールトの関係を表現している．ものにはその性質に応じて様々な機能があるが，基本的とみなされるような少数の機能が存在し，主にそれらの機能を通して他の対象と関係し合う．たとえば，鉛筆を考えてみると,「書く」,「載せる」,「投げる」,「刺す」など，いくつもの機能を持つ．しかし鉛筆は，それが相互作用する別の対象との関係に応じて，優先的に選択される機能があり，たとえば紙のような対象に対しては「書く」という機能が選択される．図形パズルに関していえば，きれいな形を形成するように，複数の図形を接続することに対応する．対象レベル制約同様，関係制約も単一ではなく，複数存在し，これが各々の強度に応じて確率的に選択される．

通常，関係制約は，潜在的には多様な関係を持ち得る対象に対して，特定の関係に焦点化させ，認知的負荷を低減する働きを持つ．しかし，洞察問題においてはこれがゴールの達成を阻むことになる．たとえば，ろうそく問題では画鋲のはいった箱は他の対象とさまざまな関係を持ち得るが，箱の基本機能は「何かを中に入れる」ということであるため，解決にとって重要な「台となる」という関係は考慮されなくなってしまう．

2.3.3　ゴールの制約

問題のゴールに対するイメージであるとともに，現在の状態とそのイメージの間の適合の度合を評価する関数も含んでいる．この制約は，対象の制約と関係の制約を調整する役割を持つと考えられる．対象レベル制約，関係制約はある程度まで課題と独立な人間の傾向性を表しているのに対して，ゴール制約は定義上，問題 (あるいは問題のタイプ) に固有である．

なおこの制約はすべての洞察問題に明示的な形で存在するわけではない．たとえば，ろうそく問題では人は明示的なゴールのイメージを持っているわけではない．このような場合でも，ゴール制約が存在しないというわけではなく,「壁を焦がしてはならない」,「ロウソクは不安定であってはならない」など，問題の条件に対応したゴール制約が存在し，これを逸脱するような行為に対しては抑制がかけられる．

2.3.4　制約の緩和

初期には対象，関係の制約が作用し，問題解決にとって不適切なオペレータが用いられることになる．しかし，試行を重ねるにつれて，ゴールの制約からフィードバックがかかり，徐々に初期の制約の強度が変化し，制約が緩和されていく．その結果，初期制約を逸脱したカテゴリー化や関係づけの相対的頻度が高まり，ある時点で特定の形の逸脱が対象，関係について生じた時に，確率的に洞察に至ることになる．

これは ACME(Holyoak & Thagard, 1989) や ARCS(Thagard, Holyoak, Nelson, & Gochfeld, 1990) で行なわれていたような，相互結合型のネットワークによる緩和とは異なる．彼らの制約緩和は内的制約間の協調と競合により達成されていた．しかし，洞察問題解決に対する我々の理論は内的制約は一致して不適切なオペレータの選択を促してしまうこと，そしてこれらの緩和はゴールの制約を媒介とした外界との相互作用によって生み出されることが特徴である．

2.3.5　アルゴリズム

前述したように，対象レベル，関係，ゴール各々について制約は複数存在し，これらは固着の程度を表す強度 h^t を持っている（なお t は問題解決中の時刻を表す）．時刻 t における，ある特定の制約 (c_i) の選択は，式 (2.1) のアルゴリズムに従う．なお，制約選択は，対象レベル，関係，ゴール各々について独立に行なわれるが，アルゴリズムは同じなのでここではまとめて説明する (開・鈴木, 1998).

$$P(c_i) = \frac{e^{\beta * h_i^t}}{\sum_l e^{\beta * h_l^t}}, \tag{2.1}$$

ここで用いた $e^{\beta * h_i} / \sum_j^N e^{\beta * h_j}$ は softmax (Bridle, 1990) と呼ばるアルゴリズムである．ここで β は正の定数で，$\beta \to 0$ のときは全ての値が $1/N$ に近づき，すべての制約が等確率で選択される．一方，$\beta \to \infty$ のときは一般の winner-take-all と同様にもっとも大きな h に対してその値は 1 に漸近する．このアルゴリズムを用いることにより，問題解決初期においてもある確率でデフォルトの制約を逸脱した試行が行なわれることになる．また，ここで $\sum_i^N \frac{e^{\beta * H_i}}{\sum_j^N e^{\beta * H_j}} = 1$ であること，つまり各制約の選択確率の和は常に 1 となることに注意されたい．

問題解決過程のある時刻 t において選択されたある特定の制約 (c_i) の強度が h_i^t であったとする．ここでこれにしたがったオペレータが適用されたあとの強度 h_i^{t+1} は以下のように更新される．

$$h^{t+1} \leftarrow h^t + \Delta h^t \tag{2.2}$$

$$\Delta h^t = \gamma \frac{e^{\beta * h_i}}{\sum_j^N e^{\beta * h_j}} Error \tag{2.3}$$

ここで，γ は学習率 $(0 < \gamma < 1)$，β は正定数である．これは経験による変更の度合に対応する．これらの値が大きければ 1 度の失敗により制約強度は大きく変化し，異なるタイプの試行を行なうことにつながる．*Error* は与えられた問題に依存して定義される評価関数となる．これが適切である場合には，早期に洞察に至り，そうでない場合にはなかなか洞察には至らない．

なお，ここでは時刻 t で選択されていない制約の強度は t において更新されない．しかし，前述したように $\sum_i^N \frac{e^{\beta * H_i}}{\sum_j^N e^{\beta * H_j}} = 1$ であるので，ある制約の強度が変化することにより，その制約が属する集合内の他の制約の選択確率は非線形に変化する．

問題解決が進むに従って徐々に各々の制約の強度が上述した更新式によって変化していく．この結果，問題解決過程において選択される制約が変化し，たとえ類似した状態であったとしても，問題解決の時間に応じて異なるカテゴリー化や関係づけが選択されることが予測できる．

ここで制約の動的緩和理論と創発的認知との関連を指摘しておく．上記の理論は洞察というきわめて複雑で神秘的ですらある現象を，いくつかの特定の傾向性，マッチング，フィードバックという単純なプロセスのみから説明しようとするものである．つまり，ここでは高度な知識や中央制御は全く用いていない．そして制約の作用は局所的，並列的であり（対象レベル，関係，ゴールなど），相互の一貫性を仮定していない．緩和アルゴリズムについても同様であり，上記のアルゴリズムはロボットの学習などでよく用いられる単純な Q learning の 1 バージョンである．

2.4　洞察の個人差からみた制約の動的緩和理論の妥当性[3]

本節では，ある図形パズルを用いて，それを早く解ける被験者とそうではない被験者の解き方の差を同定し，その差を制約の動的緩和理論によって説明可能かを検討する．前節で述べた制約の動的緩和理論にしがたえば，個人差について 3 つの可能性が存在する．第一は，制約の初期値およびそれに基づく特定の制約の選択メカニズムに関わるものである．制約は各レベルで単一ではなく，複数存在し，それらは各々強度 h を持つとされ

[3]本節は開一夫，宮崎美智子との共同研究に基づいている．

る．制約の選択メカニズムはこの強度 h に softmax を用いて確率的に行われる．したがって，早期に洞察に至る問題解決者は初期に支配的な，問題解決を阻害する制約の強度が低く，非標準的な試行が始めから多いという可能性がある．

残る二つの個人差の源泉は，問題解決中に行われる学習に関わるものである．制約の強度は固定したものではなく，問題解決過程における様々な経験によって変化する．たとえば，ある制約に従った試行を行った結果がゴール制約に基づき失敗に至ったと判断されると，それを引き起こした制約の強度 h が減少する．制約の動的緩和理論からすると，強度 h の増加・減少の程度は，1) エラーの度合いの評価，2) および強度の更新率（学習率）に関係する．

すなわち個人差の第二の源泉はゴール制約に基づく試行の評価に関わる可能性がある．素早く洞察に至る被験者は，自らの行った試行の評価を適切に行い，それに応じて制約の強度を変更するが，そうでない被験者は評価が適切でないため，制約の強度の変更が正しい形で行われないという可能性である．これは式 2.3 における *Error* により表現されている．

個人差の第三の源泉は，評価後に行われる制約強度の更新率に関わるものである．前節のモデルでは，試行の評価値はその試行を生み出した制約の強度更新にそのままの形で用いられるわけではなく, 更新率 (= β, 定数) を乗じた形で用いられる. 更新率の値が 1 に近ければ一度の失敗によって制約の強度は大きく変化する．一方，0 に近ければ強度の変化幅は小さくなる．洞察になかなか至らない問題解決者は，仮に適切な評価がなされても，更新率が低いために制約強度がなかなか変更されず，初期の制約を逸脱した試行を行う頻度が少ないという可能性が存在する．別の言い方をすれば，洞察に至らない問題解決者は経験を適切に評価しても，自らの制約の強さを大きく変化させることはない保守的な問題解決者なのかもしれない．

まとめると，洞察問題解決における個人差は，

1. 制約の初期値に関わる可能性：素早く洞察に至る被験者は，初期から問題解決を阻害する制約強度が低い，
2. 失敗や成功の評価に関わる可能性：素早く洞察に至る被験者は，自らの試行の評価が適切である，
3. 制約強度の更新率に関わる可能性：素早く洞察に至る被験者は，試行の評価によって制約の強度を大きく変化させる，

のいずれか，あるいはそれらすべてに起因することが推測される．

2.4.1　方法

被験者　文科系大学生 31 名が実験の被験者となった．被験者はランダムに 2 分群と 7 分群に分けられた. 各々の群で，2 分あるいは 7 分以内に問題を解決してしまった被験者，またビデオ機器のトラブルにより十分な記録がとれなかった被験者を除く，26 名 (2 分群 12 名, 7 分群 14 名) を以降の分析の対象とした．いずれの被験者も実験課題である T パズル（後述）を解いた経験はないと報告している．

課題　用いた課題は図 2.1 に示した T パズルと呼ばれる図形パズルである．

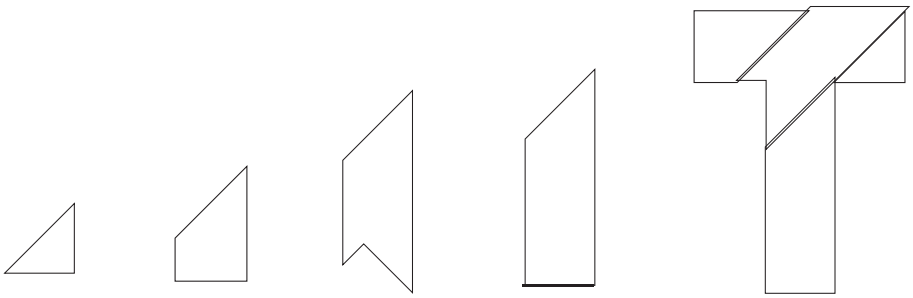


図 2.1: T Puzzle. 左側の 4 つの図形を用いて T の形を作る．正解は右端の通り．

このパズルでは，左側の 4 つのピースを用いて T の形を作ることがゴールとなる．正解は右端に示した通りである．一見単純そうに見えるが，このパズルはきわめて難しく，ヒントとなる情報が全くない場合には通常 30 分以上もの時間がかかり，途中で放棄するものも多数いる．

ここで対象レベルの制約とは，一つのピースの置き方に関わるものである．潜在的にはピースの置き方は無限であるが，人間はできるだけ多くの辺が基準線 (机の端) に平行，あるいは垂直になるような置き方をすることが多い．これがこのパズルにおける dominant な対象レベル制約となる．関係の制約は，複数のピースの接続の仕方に関わるものである．対象レベル同様，2 つのピースの接続の仕方は無限に存在する．しかし人間は組み合わせによってできる形ができるだけきれいな形 (すなわち角の数が少なくなる) になるようにする強い傾向性が存在する．これが初期に支配的な関係の制約となる．図 2.1 を見れば明らかなように，これらの制約が 5 角形ピースに適用された場合には解決が不可能となる．こうした初期の制約が T のイメージ及び評価関数からなるゴール制約によって，その強度を変化させることにより解決が生み出される．

R+O+　R+O-　R-O+　R-O-

図 2.2: 評価課題で用いた刺激例.

被験者はこのパズルを完成させる課題 (完成課題) とともに評価課題も行なった．評価課題で用いられた刺激は，T パズルの 5 角形のピースと他のいずれか 1 つのピースを組み合わせた図形の画像である．これら評価図形は，ピースの種類 (3) ×対象レベル制約の逸脱の有無 (2) ×関係レベル制約の逸脱の有無 (2) となり，12 種類存在する．どちらの制約も逸脱した図形を R+O+，関係レベル制約のみ逸脱した図形を R+O-，対象レベル制約のみ逸脱した図形を R-O+，どちらの制約も逸脱していない図形を R-O- と呼ぶ．図 2.2 に各々の例を示した．

手続き　被験者にはパズルの 4 つのピースと，完成時に出来る T の形を 1/4 に縮小して印刷した用紙をモデルとして与え，モデルと同じ形の図形を 4 つのピースを用いて作成するように告げた．なお，ビデオでの分析のため，横 50cm ×縦 30cm の枠内で解決を行うこと，また空中での操作を行わないことを告げた．また，2 分群には 2 分後 (7 分群には 7 分後) に一時的に別の課題を行うことを事前に告げた．

被験者は 2 分後，あるいは 7 分後に完成課題を中断し，別の机にあるコンピュータのディスプレイの前に移動し，評定課題に移行した．まず被験者に装置の操作の仕方，および各図形の提示時間は 2 秒であること，その後 5 秒以内に評定を行うこと，評定は 10 段階で行うこと (解決には全く近づいていない場合には 1，解決に非常に近づいている場合は 10) を告げた．また，提示時間が 2 秒であり，評定時間が 5 秒であることから，あまり考え込まずに直感的に評定を行うよう指示した．なお，評定図形の提示は同じタイプの図形が連続しないように配慮し，固定した順序で行った．

評定課題終了後，被験者はパズル解決課題を再開した．なお，10 分経過後もパズルが解決できない場合には「五角形の凹部分を他のピースで埋めないように」というヒントを与えた．このヒントの後さらに 5 分後経過しても解決できない被験者には，五角形ピースを正しい向きに固定するというヒントを与えた．

2.4.2　結果と考察

解決課題の分析は解決に要した時間とセグメントにより行う．セグメントとは，被験者があるやり方を試みるが失敗に気づき，別のやり方を試すまでの，いわゆる 1 つの試行に対応する．操作的には被験者があるピースと別のピースを接続し，それらを分離するまでと定義する．また，2 分群と 7 分群では以下で分析するいかなる指標についても統計的な有意差が見られなかったので，以降ではまとめて一つのサンプルからのデータとして取り扱う．

自力解決者とヒント解決者　自力解決者とヒント解決者 (解決に 10 分以上かかった被験者すべて) のパフォーマンスを表 2.1 にまとめた．なおヒントなしで自力解決できた被験者の数は，2 分群 3 名，7 分群 4 名であった．この表から明らかなように，自力解決者とヒント解決者の間には，解決時間，セグメント数に大きな違いがある．以降の分析では自力解決者 7 名と，ヒントによって解決した 19 名の違いに焦点を当てた分析を行う．

表 2.1: 自力解決者とヒント解決者のパフォーマンス．上段は解決時間 (秒)，下段はセグメント数を表す．

	平均	最小	最大	中央値
自力	384.9	189	573	335
	42.7	23	70	39
ヒント	918.8	629	1206	962
	80.7	50	107	76

制約強度の初期値　自力解決者とヒント解決者の違いは，制約強度の初期値にあるかを検討するために，パズル解決開始 10 セグメントまでにおける制約逸脱の比率の比較を行った．表 2.2 に各々の制約逸脱の頻度と比率を示した．χ 2 検定を行った結果，対象の制約の逸脱比率について両群間に有意差が見られた ($\chi^2(1, N = 249) = 3.85, p < .05.$). 一方，関係レベル制約については両群間に有意差は見られなかった ($\chi^2(1, N = 260) = 1.23, p > .05, n.s.$). また，開始 10 セグメントではなく，評定課題前までの試行すべてについて同様の分析を行ったが，同様の傾向が見られた．以上のことから，自力解決者はヒント解決者に比べて，問題解決の初期から対象の制約を逸脱した試行を多く行うことが示された．

表 2.2: 初期段階における制約逸脱率: 「開始 10」とは問題解決の開始から 10 セグメントめ までの,「評定前」とは評定前までのすべてのセグメントにおける制約逸脱率を表す.

	対象制約		関係制約	
	開始 10	評定前	開始 10	評定前
自力解決	29	26	40	36
ヒント解決	18	16	33	30

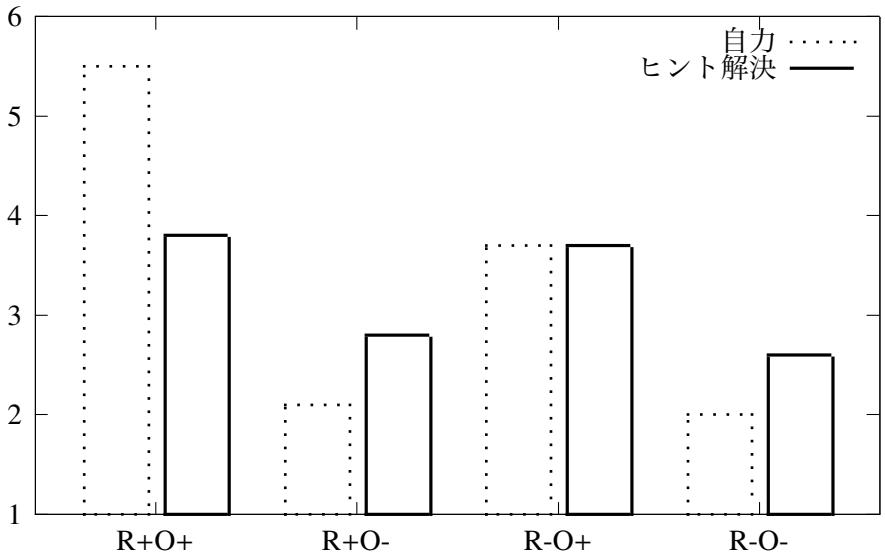


図 2.3: 自力解決者とヒント解決者の各図形タイプに対する評定値平均．R は関係制約，O は対象制約を表し，+は制約の逸脱，−は制約の遵守を意味する．

試行の評価　仮説 2 の可能性を検討するために，自力解決者とヒント解決者の評定課題の成績を分析した．各評定図形タイプに対する評定値の平均を図 2.3 に示した．この表は，自力解決者は適切な図形 (R+O+) に対して高い評価を与えている．一方，ヒント解決者はそうした図形に対しても見込みのない図形と同じような評価を行っている可能性を示している．そこで対象，関係の制約の逸脱の有無と，自力解決・ヒント解決の 3 要因の分散分析を行ったところ，対象レベル制約の主効果 ($F(1, 24) = 21.17, p < .001.$) が得られた．また関係レベル制約の主効果 ($F(1, 24) = 4.11, p = .054.$)，および対象レベル制約–自力・ヒント解決要因の交互作用について有意な傾向が認められた ($F(1, 24) = 3.57, p = .071.$).

本論文の目的は，自力解決者とヒント解決者の違いを明らかにすることであるので，以下ではこの交互作用の傾向についてより詳細な分析を行う．自力解決者は対象レベル制約を逸脱した図形 (R+O+,R-O+図形) の評定値が平均 4.6 であるのに対し，対象レベル制約を逸脱していない図形 (R+O-,R-O-図形) についての評定平均は 2.1 点であった．一方，ヒント解決者についてはそれぞれ平均 3.8，2.7 であった．特に注目すべきは長台形と 5 角形の組み合わせである．対象の制約を逸脱していない図形 (R+O-) は，一見すると非常に T に似た形をしている．実際，ヒント解決者の両方の制約が緩和された図形とこの図形の評定値は各々3.8，3.2 であり，わずかな違いしか存在していない．しかし，自力解決者の評定平均は各々6.6, 1.9 と大きな違いがある．この 2 つの図形と自力・ヒント解決の 2 要因の分散分析を行うと，交互作用が見られた ($F(1, 24) = 11.11, p < .01.$)．このことから，自力解決者は対象レベル制約の逸脱が課題達成にとって重要であることをより明確に把握していることが示唆される．

制約強度の更新率　第 3 の可能性，制約強度の更新率の違いを検討するために，まず評定課題前後の 5 角形についての制約逸脱の比率に注目して分析を行う．評定課題は R+O+のような適切な配置の刺激を含んでいるので，評定課題後には制約の逸脱が増加するはずである．開始から評定課題直前まで，および評定課題直後からヒントを受ける直前までのセグメントにおける制約逸脱の比率を図 2.4 に示した．

全体的に評定課題前から評定課題後にかけて，初期に支配的な制約の逸脱比率が増加していることがわかる．特に自力解決群においては，初期の対象，関係の制約の逸脱比率がともにおよそ 2 倍に増加している．各群，各制約における評定課題前後の逸脱頻度の増加を χ^2 検定によって検討したところ，自力解決群においては，評定課題前後の対象，関係制約それぞれの逸脱頻度の増加が見られた (それぞれ $\chi^2(1, N = 200) = 5.03, p < .05; \chi^2(1, N = 191) = 11.06, p < .001.$)．また，ヒント解決群に関

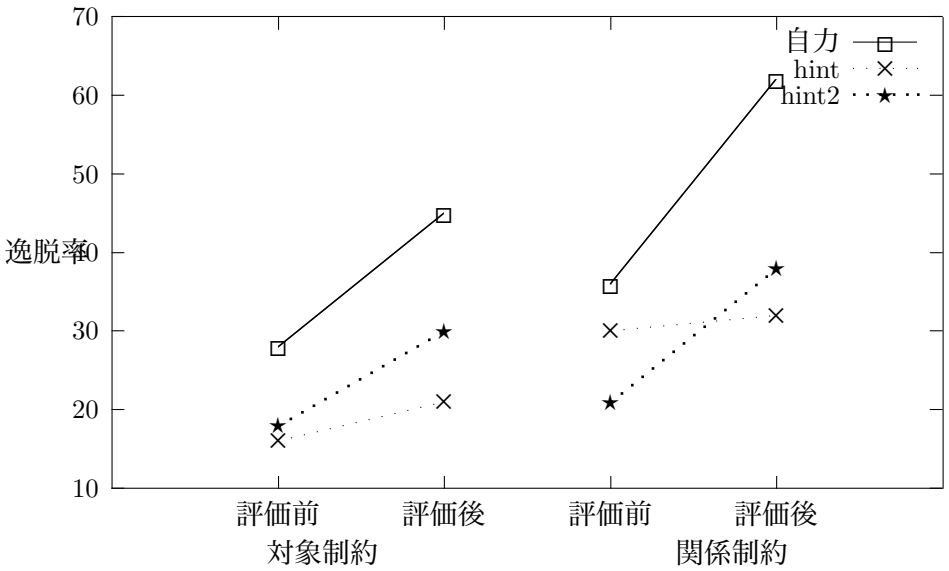


図 2.4: 評定課題前後における制約逸脱率：自力とは自力解決者，hint とはヒント解決者，hint2 とは自力解決者と同様の評価を行なったヒント解決者を示す．

しても，評定課題前後における対象制約の逸脱頻度の有意な増加が見られた ($\chi^2(1, N = 1223) = 4.77, p < .05$.).

また，自力解決群の 7 名のうち 2 名が評定課題後 1 分以内にパズルを解決しており，これは評定課題が解決に有効なヒントになり，それを被験者が学習した可能性を示唆する．残りの 5 名についても全体的に早く解決に至っている．これらの被験者は評定課題から解決までのセグメント数は最小 8，最大で 26(中央値は 11) であった．一方，ヒント解決群における評定課題後からヒント教示までのセグメント数は最小 14，最大 63(中央値は 33) であった．セグメント数について中央値を比較すると，自力解決群はヒント解決群に比べ試行数が約 1/3 になっていることがわかる．両群が評定課題後に費やしたセグメント数 (ただしヒント解決群はヒント教示まで) に基づき各被験者を順位化し，U 検定で比較した結果，有意な差が見られた ($U = 126, p < .01$).

ただし，こうした違いは評価の適切性を反映しているのであり，更新率自体の違いを表しているのではない可能性もある．そこでヒント解決者の中で，評定課題を適切に行ったものと，自力解決者の制約逸脱を比較する．ヒント解決者の選択は，R+O+図形の評定値平均が最も高く，R-O-図形のそれが最も低いという基準によった．この基準に該当するヒント解決者は 5 名である．この 5 名の評定前後における制約逸脱頻度の変化について，前と同様の分析を行うと, 対象, 関係いずれの制約についても逸脱頻度の増加が見られた (対象制約:$\chi^2(1, N = 293) = 5.06, p < .05$; 関係制約:$\chi^2(1, N = 278) = 6.46, p < .05$.)．この結果は, 適切な評定を行った場合には，ヒント解決者であっても制約強度の変更は自力解決者同様に行われることを示している．すなわち，両グループの被験者に見られた更新率の差は，評定課題の適切さを反映したものであると言える．

それでは，評定を適切に行い, また制約強度の更新も自力解決者と同様に行っているにかかわらず, これらの被験者が洞察に至らないのはなぜであろうか．これは制約強度の初期値の差に関係すると思われる．この分析で用いたヒント解決者の評定後の，対象・関係レベル制約逸脱比率は，それぞれ 30%，38%である．一方，自力解決者の評定前の対象・関係レベル制約逸脱比率は 28%，36%であった．つまり，このヒント解決者の制約強度は確かに変更されはしたが，自力解決群における初期値レベルに達したに過ぎないことがわかる．

2.4.3　実験のまとめ

本研究では，T パズルという図形パズルの解決における洞察の個人差を制約とその緩和の観点から分析した．具体的には，自力で洞察に至る被験者とそうでない被験者の差を，問題解決の一般的図式に基づく対象，関

係，ゴールの３つの制約とその緩和の過程として分析した．こうした枠組みの下では，個人差の源泉は制約強度の初期値，経験の評価，制約強度の更新率の３つのいずれか，あるいはすべてに関係すると考えられる．

実験の結果，自力で洞察に至る被験者は問題解決の初期から問題解決を阻害する制約を逸脱する割合が高いこと，また評定課題においてより適切な評価を行うことが明らかにされた．ただし，制約強度の初期値の違いは対象の制約においては統計的な有意差が見られたが，関係の制約についてはそうではなかった．制約強度の更新率について検討するために，評定課題前後の制約逸脱率を比較した．一般に自力解決者はヒント解決者に比べて評定課題後に制約を逸脱した試行の頻度が増加する．しかし，自力解決者と同等の評定を行ったヒント解決者と比べると更新率自体には差がないことが明らかになった．したがって，自力・ヒント解決者の評定課題前後の制約逸脱の違いは，評価の適切さを反映したものである可能性が高いと考えられる．

これらのことから，個人差について次のような示唆が得られる．自力で洞察に至る問題解決者は，比較的初期から，問題解決を阻害する支配的な対象の制約を逸脱した試行を相対的に頻繁に行う．関係の制約の逸脱はまれにしか起こらないが，これらの問題解決者は，逸脱の起きた試行を適切に評価し，それによって初期の制約の強さを変化させると考えられる．特に本研究では評定課題において解決に有効な刺激図形が提示された．これによって，自力解決者においては初期に支配的な制約の強度が減少すると同時に，これらとは異なる制約の強度が増加したと考えられる．一方，洞察に至りにくい問題解決者においては，そもそもどちらの制約の逸脱もまれにしか起こらない．そして仮に逸脱が起きても，その価値を適切に評価できないため，初期の制約強度の更新がうまく行われない．したがって自力で洞察を得ることは極めて困難になる．

制約の動的緩和理論は，自力解決者とヒント解決者の違いを，理論の重要な構成要素である，

- 制約初期値
- 試行の評価
- 制約強度更新率

との関連で適切な説明を与えることが明らかになった[4]．

2.5　ゴール制約から見た制約の動的緩和理論の妥当性[5]

[4]本研究は上原達朗，宮崎美智子との共同研究である．
[5]本節は上原達朗，宮崎美智子との共同研究に基づいている．

本節では，制約の動的緩和理論の予測に従い，制約緩和の鍵となるゴール制約の機能の一部を外化させ，これによって制約の緩和、ひいては洞察問題解決全体が促進されるかを検討する (開・鈴木, 1998; 鈴木・開, 2003). 実験 1 では，外化によってゴールのイメージをより明確にし，自らの試行とゴールとの差異を検知しやすくし，そこでの制約緩和を時系列分析する．実験 2 ではパズルを変形することにより，ゴールとのマッチングをとりやすくする条件とそうでない条件との間での制約緩和を比較する．

本研究は，Zhang & Norman (1994) の分散表象空間のフレームワークを用い，ゴール制約の機能を外化させた実験を行い，この制約に関する制約動的緩和理論の仮定を検証する．前述したように，ゴール制約には現状とゴールとの間のマッチング，およびその間の差の計算の 2 つの機能が存在する．実験 1 では，主にマッチングの機能を外化させ，実験 2 ではマッチングに加え，評価の機能を外化させる．Zhang らの研究からすれば，外化は認知の負荷を軽減するのでパフォーマンスが促進されるはずである．特にゴール制約は制約緩和にとってきわめて重要な役割を果たすわけであるから，これの機能が外化されることにより，洞察問題解決のパフォーマンスも促進されることが予測できる．

2.6　実験 1

実験 1 ではゴール制約のマッチングの機能を外化させ，T パズルの解決が促進されるかを検討する．前述したように，洞察問題解決において問題解決者はしばしば偶然に有効な情報をもたらす試行を行うが，それに気づかず元の実りのないアプローチに逆戻りするという現象がしばしば観察される．T パズルにおいても同様の現象が見られる．対象レベル制約，関係制約の遵守率が 60–90%ということは，裏を返せば 10–40%の試行は制約を逸脱したものとなっているのである．しかしながら，こうした試行から得られる有益な情報は無視されてしまう．

この原因は，五角形ピースは完成図形の外周部への露出部分が他に比べて少ないことにあると考えられる．このピースの外周はもっとも大きなピースである大台形とほとんど変わらない (284mm と 297mm)．しかし完成図形の外周に対して各々のピースの露出部分が占める割合は 2 倍以上の開きがある (20%と 43%)．また完成図形外周への露出部分が各々のピースの自体の外周全体に占める割合も同様で，大台形ピースでは 81%であるのに対して，五角形ピースは 40%であるに過ぎない．

このため仮に制約を逸脱した配置を行ったとしても，それが T のどの部分とマッチするのかが理解しにくい．こうしたことが T パズルの解決を妨害しているのではないかと考えられる．

そこで本実験では，T パズルを変形し，五角形ピースの露出部分を増加させることで，制約逸脱から産み出される配置とゴールとの間のマッチングをとりやすくするという操作を加える．具体的には T の露出部分が全外周に占める割合を 20%から，23%，29%とした (図 2.5 を参照).

図 2.5: 変形 T パズル.

2.6.1　方法

被験者:　高校生，大学生の 34 名が被験者となった．彼らはランダムに 23%変形パズル群，29%変形パズル群と，通常の T パズルを解く統制群の 3 群に割り当てられた．なおこの中に今までにパズルを解いた経験のある者 10 名，1 セグメントで解決をしたもの 1 名 (29%パズル群) は分析の対象からはずした．その結果，両変形パズル群の 8 名ずつ，統制群 7 名が以降の分析の対象となった．

手続き:　被験者は割り当てられた群に応じたパズルを解くことが求められた．被験者の正面にパズルの 4 つのピース，および完成時図形と同寸の T が印字された用紙を横に置き，これと同じものをつくるよう求めた．なお，この用紙は被験者の左横に置き，固定した．被験者には，録画の関係上空中で操作しないこと，約 50cm×35cm の枠内で問題を解決するよう告げた．したがって被験者はピースをモデルとなる用紙の上に重ねることはできない．15 分経過後も解決できない場合には，五角形ピースの凹部分に他のピースを接続してはならないというヒントを与えた．それからさらに 5 分経過しても解けない場合には五角形ピースを正しい位置と向きに固定するというヒントを与えた．なお問題解決過程はすべてビデオテープにより録画し，その後の分析に用いた．

表 2.3: 各群の平均解決時間（秒），セグメント数，および制約逸脱率（%）.

	解決時間 (秒)	セグメント数	対象制約逸脱 (%)	関係制約逸脱 (%)
23%群	430.5	38	38	44
29%群	176.5	14	36	54
統制群	999.5	57	18	21

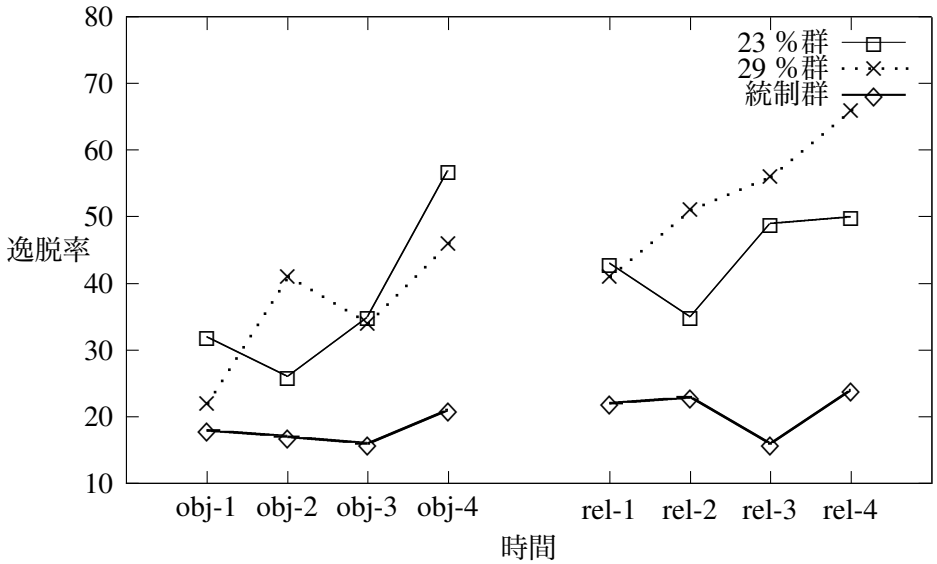


図 2.6: 各群の制約逸脱の時間的推移.

2.6.2　結果

分析は従来の研究に従い，時間およびセグメントをベースにして行った．15 分以内に自力で解決できた被験者は 23%パズル群で 5 名 (63%)，29%パズル群で 6 名 (75%) であったのに対して，標準の T パズルを用いた統制群では 0 名であった．

各群の解決時間と解に至るまでのセグメント数を表 2.3 に示した．この表から明らかなように，解決時間でも，セグメント数でも両変形パズル群と統制群の間にはきわめて大きな違いがある．解決時間について 1 要因の分散分析を行った結果，群間に有意な差がみられた ($F(2, 21) = 6.12, p < .01$). 下位検定を行った結果，29%パズル群と統制群との間に 1%水準の有意差が，23%パズル群と統制群の間に有意傾向がみられた．セグメント数についても同様の結果が得られた (ただし 23%パズル群と統制群との間の下位検定の有意水準は 5%).

制約の逸脱についての分析を行う．対象レベルの制約逸脱とは五角形ピースの長辺を基準線に平行，あるいは垂直に置かない置き方とし，関係制約の逸脱は五角形ピースの凹部分にほかのピースを接続しない置き方とした．なお，この分析はヒント前までのセグメントに対してのみ行った．これはヒントが関係制約の逸脱を明示しているからである．

表 2.3 の第 4，5 カラムに示したように，変形パズルを解いた両群は，対象レベル制約においてもまた関係制約においても，統制群の 2 倍程度の逸

脱率となっている．両制約とも緩和されていることがわかる．

次に制約逸脱の時間的推移を図 2.6 に示した．統制群は対象レベル制約の逸脱率ははじめから少なく，それは最終段階になってもほとんど変化がない．一方，変形パズルの両群においては，第 1 段階と第 4 段階の間に 2 倍程度の増加が見られる．

関係制約についても，変形パズル両群と統制群との間には大きな差が見られれる．ただし，制約の逸脱率の増加は対象レベル制約ほどではない．変形パズル両群でははじめから逸脱率が高く，それが保持される傾向にある．

2.6.3　考察

以上の実験から，五角形ピースの露出部分を数%程度変更するだけでも，制約の逸脱が促進され，パフォーマンスにきわめて大きな差が産み出されることが明らかになった．この結果は，露出部分を大きくすることで，マッチ，特に五角形ピースを適切に配置したときのマッチがとりやすくなり，緩和が促進されたためと考えられる．

なお図 2.5 にあるように，29%変形パズルでは五角形ピースの幅 (もっとも長い辺と次に長い辺の間の距離) が他のピースよりも若干大きくなっている．こうしたことが 29%群のパフォーマンスに関係している可能性もある．ただし，こうしたことが見られない 23%変形パズルを解いた群だけ見ても，その自力解決率，制約逸脱率，緩和の進行は，統制群とは大きく異なっており，変形パズルの効果が幅の違いだけには還元できないことを示している．

ここで注意すべきことは，マッチがうまくとれたとしても，そこから即座に洞察に至るわけではないという点である．分析の対象となった被験者の中で対象レベル制約，関係制約の逸脱が 1 回だけで自力解決できたものは分析対象外とした 1 名を除けば存在しない．もっとも早期に解けた被験者 5 名 (3 分以内，あるいは 10 セグメント以内の解決者) に限っても，対象レベル制約の逸脱は最低でも 3 回，関係制約の逸脱は 5 回ほど生じている．つまり洞察は突然におとずれるものではなく，漸進的な緩和の結果が生じているのである．

2.7　実験 2

実験 2 ではゴール制約のマッチングの機能に加えて，評価機能を外化させることによる変化を検討する．ゴール制約は試行とゴールとの間のマッチングに加えて，その差の計算をも行う．この計算は誤差を求めるもので

あり，この誤差の度合いに応じて，そのときに利用された制約の強度が変化する．したがって，もし外化により誤差をより正確に計算できるようになればパフォーマンスは向上することが予測できる．

これを実現するために，ゴール図形を印刷した型紙を用いた．そして，この型紙上の T をピースで覆い尽くすというという操作を加えた．これによってたまたま五角形ピースを適切に配置したときのマッチがとりやすくなるだけでなく，対象レベル，および関係制約を遵守したとき (つまり失敗) における誤差の検知も容易になると考えられる．

ただし単に型紙上でパズルを解くというだけでは，制約の緩和に十分ではないという結果が先行研究 (鈴木・開, 1997) から得られている．そこで，本実験では型紙に加えて五角形以外のピースの 1 つを正しい位置に固定するという操作を加えた．この操作によりパズルは 3 枚のピースを用いたものとなる．この操作に対応し，型紙は与えないが，統制群でもその他のピースのうちの 1 つを固定し，3 つのピースで T をつくるという課題を与えた．

2.7.1　方法

被験者: 40 名の大学生の被験者が以下に述べる 6 つの群にランダムに割り振られた．なお，このうちの数名は T パズルを見たことはあったが，解決した経験はないとの報告を受けている．

デザイン: 群の構成は型紙の有無 (2)，および固定されるピースの種類 (三角形，小さな台形，大きな台形) で，6 群の構成となっている．なお本実験では問題となる五角形ピースを固定する条件は設けなかった．その理由は，制約の緩和はこのピースに対して行われるので，このピースを正しい位置に固定すると T パズルが洞察問題ではなくなるためである (Suzuki & Hiraki, 1997).

手続き: 型紙ありの 3 つの条件では，完成時と同寸大の T が黒く印字されている紙の上に，群に応じたピースを固定したものを与えた．そして，固定されたピースを動かさずに，残りの 3 つのピースを用いて黒い部分を覆い尽くすように指示した．型紙無しの 3 つの条件では，被験者がその正面に T を作成した時に固定ピースのあるおよその位置を定めた．そして，そこに固定ピースを置き，このことを伝え，固定ピースを移動させないように指示した．

もし被験者が 15 分以内で問題を解けない場合には，五角形ピースの凹部分に他のピースを接続しないことが重要であるとのヒントを与えた．なお，問題解決の全過程はビデオテープに録画され，その後の分析に用いられた．

2.7.2　結果と考察

統計的検定の結果，型紙の有無の主効果のみが見られ($F(1,39) = 54.12, p < .0001$)，固定ピースの種類，および交互作用は見られなかったので，以降の分析では固定したピースの種類を無視して，型紙あり群と型紙無し群との間の比較を行う．

自力解決者の数には大きな差があり，型紙ありの場合には 21 名中 20 名が自力で解決したのに対して，型紙無しの場合には 19 名中 15 名がヒント後に解決している．表 2.4 に各群の解決時間を示す．中央値で比較すると，型紙ありの場合は 1，2 分で解決しているのに対して，型紙無しでは 15 分を越えている．

表 2.4: 各群の解決時間（秒）

	平均	最小	最大	中央値
型紙群				
大台形 (6)	279	10	962	145.5
小台形 (8)	149.8	15	410	79
三角形 (7)	244	14	702	105
型紙なし群				
大台形 (6)	1038.2	754	1269	1096.5
小台形 (6)	807	226	1242	952.5
三角形 (7)	964.4	460	1271	1098

このように解決時間にはきわめて大きな差が存在するが，これは図 2.7 で示した分布からも明らかである．型紙あり条件では 3/4 が 5 分以内で，90%の被験者が 10 分以内には解決をしている．一方，型紙無し条件では 10 分以内の解決者は 15%に満たない．なお，本実験では制約逸脱の時間推移についての分析は行わない．その理由は，型紙あり群では 10 セグメント以内に解決した被験者が多数おり，これらを分割した場合，信頼できるセグメント数が確保できないためである．

次に制約逸脱について分析を行う．逸脱の基準は実験 1 と同様である．対象レベル制約，関係レベル制約の逸脱率は型紙あり群で各々30%，45%であったのに対して，型紙なし群では 28%，32%であった．解決時間に比べるとさほどの差はないように思われる．しかしこれは型紙あり群の多くの被験者が数試行以内で終了してしまい，群全体への寄与が小さくなってしまうためである．そこで 50%以上の試行において逸脱した被験者の比率を求めた．その結果，対象レベル制約では型紙あり群が 52%，型紙なし群が 5%，関係制約では各々76%，0%であった．

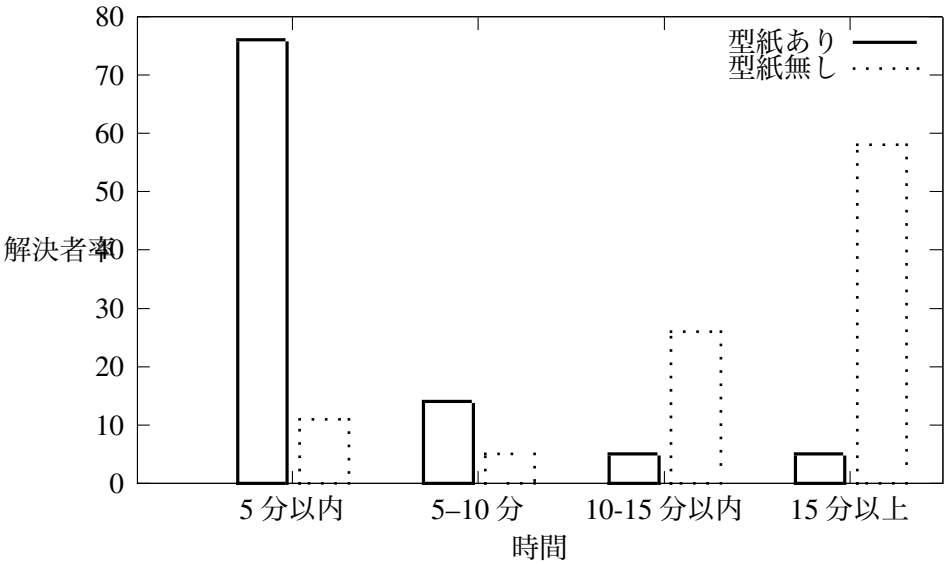


図 2.7: 解決時間の分布.

2.7.3　考察

実験 2 では型紙を与えることにより，ゴール制約のマッチングと評価機能の両方を促進することを試みた．結果は，この操作がきわめて有効であり，劇的な効果をもたらすことを示した．型紙あり群の場合ほぼ全員が自力で解決できたが，型紙無しの場合では約 1/4 に過ぎなかった．また，解決時間の分布は型紙ありと無しでは全く異なっており，型紙ありの場合には大半の被験者が 1，2 分で解決している．

また型紙によって制約緩和が促進されたことも逸脱率の分析から明らかである．逸脱試行が全セグメントの半数を越えた被験者は型紙無し群ではほとんどいないのに対して，型紙あり群では対象レベル制約で半数以上，関係制約では 3/4 にも及んだ．

このような劇的な結果の一部はパズルのピースが 4 枚から 3 枚に減ったことに関係しているかのようにも思われる．しかし型紙無し群も同様に 3 枚のピースで問題解決を行っているわけであるから，ピースの枚数だけにこの効果を起因させることはできない．また型紙無し群のパフォーマンスは，4 枚ピースで行ったときの被験者のデータとほぼ一致しており，型紙がない場合にはピースの枚数はパフォーマンスとは無関係であることを示している．

2.8　総合討論

本研究では制約の動的緩和理論におけるゴール制約の機能を検証するため，2 つの実験を行い，その結果を報告した．以下では，この理論の妥当性と拡張可能性をまず論じ，次に制約論的アプローチ一般，および外的資源研究との関連で本研究の結果を検討する．

2.8.1　理論の妥当性と拡張可能性

本論文では，洞察問題解決のゴール制約を外化することによる効果を検討した．制約の動的緩和理論では，緩和の鍵となるのはゴール制約であり，この制約が現状とゴールとの間のマッチングを行い，その誤差に基づいて，その状態の生成に関わった対象レベル制約，関係制約にフィードバックを与えると主張する．したがって，マッチングや評価が行いやすい状況においては洞察問題解決が促進されることをこの理論は予測する．

ところで，問題解決の分野では適切な形で外化[6]を行えば多くの場合パフォーマンスが向上することが知られている．だとすれば，マッチング，評価を外化することにより，洞察問題の解決は容易になるはずである．結果は，この予測を支持するものであった．ゴール制約のマッチング機能を外化した実験 1，マッチングと評価機能を外化した実験 2 ともに，対象レベル，関係の両制約の緩和が促進され，外化操作を加えた群のパフォーマンスは統制群にくらべて劇的に向上した．

このことは，洞察における制約緩和がゴール状態とのマッチングと評価に基づいて行われること，そしてこれらの機能を実現するゴール制約が本質的重要性持っていること，すなわち制約の動的緩和理論の仮定が妥当であることを示している．

この結果はどの程度拡張可能なのだろうか．制約の動的緩和理論に対してよくなされる批判は，本研究で取り上げたゴール制約についてのものである．題材として用いた T パズルはゴール状態が明示的に与えられているが，こうした特徴を持たない洞察問題も多い．たとえば 9 点問題ではゴール状態を見つけること自体がゴールであるとも言える．このような問題の場合は，ゴール制約は関与しないのだろうか．もしゴールが関与せず洞察が生じるとすれば，制約の動的緩和理論は誤りとは言えないまでも，かなり限定した問題群に対してしか適用できないもということになる．

しかし，上記の批判は適切ではない．たしかに，ゴール自体のイメージは持てなくとも，顕在化していない内的ゴールによって，特定の状態がゴールか否かを判定することはできるだろうし，ゴールに達成していない

[6]「適切な」外化の問題については後述する．

程度を評価することも可能だろう．つまり，失敗は失敗と認識できるだろうし,「惜しい」失敗と「話にならない」失敗を区別できる，ということである．たとえば 9 点問題で 4 本の線を引き終わったときに 3 つもの点が残ったとしたならば，1 つの点が残ったときよりも，失敗の度合いは高いと評価されるであろう．そしてこうした失敗が続けば，それを産み出したアプローチ (あるいは制約) に対して大きな負のフィードバックが与えられ，結果として別のアプローチ (制約) が選択される確率が高まるだろう．制約論的アプローチはとらないが，MacGregor et al. (2001) は上記のことを 9 点問題を用いて実験的に検証している．

それでは内的なゴール自体が誤りである場合はどうだろうか．誤った内的ゴールによる評価は不適切であることが多いわけであるから，問題解決は著しく困難になるであろう．これは，誤った教師信号によるネットワークの学習を行うことに等しい．制約の動的緩和理論からすれば，基本的には，ゴール自体も他の制約と同様，この理論の仮定する緩和メカニズムの対象となりうる．したがって失敗が一定以上続けば内的ゴール自体も緩和され，別の内的ゴールの選択確率が上昇することが予測できる．ただし現状では，こうした状況下の問題解決については今後の研究を待つ他はない．

2.8.2　制約論的アプローチ

本研究における制約は拮抗する複数の制約の存在を仮定しているという点において従来の研究とは大きく異なる．制約はあたかも単一であるかのように語られることがある．また複数の制約の存在を認める場合でも，それらは問題，あるいは状況の異なった側面に対して作用するのであり，拮抗しているわけではない．しかし，本研究では制約は対象，関係，ゴールに関連するという意味で複数であるだけではなく，特定のタイプの制約内にもいくつもの制約があり，それらは同じ状況に対して異なる行為を促している．

こうした制約の独特な取り扱いは経験的な要請によるものである．2 つの実験から明らかなように，たしかに人は不適切な制約にとらわれてはいるが，いつでもそうしているわけではない．制約の遵守率は 100%に限りなく近い値ではなく，多くても 80%台である．これは 5 回に 1 回は支配的な制約とは異なる制約が働いていることを示している．

これは何も T パズルに特有な現象ではないし，洞察に固有であるとも言えない．たとえば 9 点問題では枠内で線を引くという強い制約が存在していることが報告されているが (Weisberg & Alba, 1981)，最初から枠外まで線を延長する被験者の数は 10%程度にもなるという (MacGregor et al., 2001)．またおもしろいことに，この 10%の被験者が即座に問題を解決す

るかというとそうではないのである．また，発達心理学などでは「何々制約は 3 歳までに獲得される」などの報告がよくある．しかしながら，実際には獲得したといわれる年齢であっても，その利用率はランダムよりもやや高いという程度に過ぎない．また，言及されている年齢以前の子どもであっても，当該制約を全く用いないかと言えばそうではない．

こうしたことからすれば，複数の拮抗する制約の存在は少なくとも「変化」が関わる現象 (洞察，発達，学習等) においては常態であり，制約の動的緩和理論の仮定はむしろ自然なものと言える．

2.8.3　外的資源を用いた問題解決

本論文ではゴール制約の機能を外化することで，理論の仮定するゴール制約機能の検証を行っている．その意味で外化自体に研究の焦点があるわけではない．しかし本研究は先行研究の知見とも整合的である．Larkin & Simon (1987) は，図などの外的表象は compact 性を持ち，探索，再認，推論を知覚レベルで行うことを可能にするとしている．実験で用いた T パズルはそもそも物理的対象である．したがって被験者は通常の T パズルを解く場合でも知覚的探索，再認，推論を行っているが，実験 1 の変形 T パズルは T とのマッチの探索をさらに容易にしたと考えられる．実験 2 で用いた型紙は通常は内的に保持されているゴール状態を外化させている．これによって誤差，適合度に関する推論を知覚的なレベルで行うことを可能になり，結果として問題解決のパフォーマンスが向上したと考えられる．

また山崎・三輪 (2001) は，図を書くことにより，制約の緩和が生じて，多様な新規命題が産み出されることを指摘している．本研究でも，外化によって制約が緩和されやすくなり，初期に支配的な制約とは異なる制約の実行される確率が高まり，逸脱が頻繁に見られるという結果を得ている．

本研究では，通常は解決が極めて難しい課題を外化により劇的に向上させることができた．しかし，外化さえ行えば認知が促進，増幅されるわけではない．それではなぜ本研究の外化がこれほどまでの促進効果を持ったのだろうか．村山 (1995) は，認知主体の内的資源と外的資源との相互関係により，外化の効果が決定されるとしている．すなわち，内的処理が困難な部分を外化すること，そして外化によって変質した課題の処理に負担がかからないことが，適切な外化の条件であるとしている．

T パズルでは，五角形ピースとゴール状態とのマッチングがとりにくいこと，そして不適切な配置がどの程度不適切なのかが容易に評価できないことが困難の原因となっている．本研究ではまさにこの 2 つの点を促進するための外化を行った．また，外化後の処理は基本的には知覚的レベルで行われるものであり，多くの被験者にとって新たな処理のためのスキルを

必要としない．その意味では，本研究で行った外化はまさに村山の指摘に合致した外化であり，それゆえ大きな促進効果が得られたと考えられる．

第3章　潜在学習としての洞察

本章では，洞察問題解決のプロセスに潜在学習が関与するという仮説を提案する．この仮説により，洞察がなぜ突然に現れるように感じられるかが説明可能となる．

この仮説を提案する前提として，まず洞察における意識と行動との乖離現象についてこれまでの研究を総括する．次に，視覚情報処理の近年の知見を検討し，意識に上らない情報が行為をコントロールする可能性を示す．この可能性を探求するために，本研究で用いる閾下刺激を用いた実験テクニックと、それについての先行研究を概観する．

3.1　洞察における意識と行動との乖離

洞察と意識，あるいは意識化はきわめて強い結びつきがあると信じられている．日常語の世界では，洞察は気づき (realization)，すなわち今までに気づかなかったことを意識化するという意味で使われることが多い (Schooler et al., 1995)．また Wallas (1926) の古典的な洞察プロセスの図式においても，ひらめき (illumination) は意識による解の把握の段階とされている．

しかしながら洞察と意識の関係はそれほど自明なものではないことが明らかになってきている．Metcalfe (1986) の実験では，洞察問題と通常の問題を使って，意識と洞察の間の興味深い関係を明らかにしている．彼女はこれらの問題の解決に取り組む被験者に一定時間ごとにどれほど解に近づいているかを自己評定させた．その結果，標準的な問題においては被験者らは自らの状態をおおむね正しく評価することが出来た．しかし洞察問題の解決者の自己評価は，客観的に見た評価とは大きく異なることが明らかになった．つまり問題解決者は解に近づいているにもかかわらず，その接近を正しく評価することが出来ないのである．これは，意識的な把握と行動との間に乖離が存在することを示している．

洞察における意識と行動との乖離を明確に示したものとして，Siegler (2000) の研究を挙げることが出来る．彼は，小学生に 2 桁の足し算問題を連続して与え，その解決時間を測定した．この問題リストは規則的に作られており，a+b の後には必ず b+a が置かれるようになっていた．よって，

この規則性に気づけば被験児は 2 題目の問題では計算することなく答えることが出来るので，大幅に反応時間を減少させることが出来る．また Sigler は被験児に，問題解決中に何か気づいたことがあればすぐに報告するように求めた．もし意識化が洞察をもたらすのであれば，解決時間が減少するポイントと，言語報告がなされるポイントは一致するはずである．しかしながら結果はそうはならなかった．平均して，解決時間の減少は平均して言語報告よりも 5 回ほど以前から生じていたのである．このことは，意識化に先立って洞察が起きていることを強く示唆している．

同様の結果は Terai & Miwa (2003) においても観察されている．寺井と三輪は，3 つの数字が横に並んで現れるスロットマシン様の装置を用いて，まず被験者に左と中央の数字を提示し，まだ提示されていない右の数字を推測する課題を実施した．右の数字は実際には直前の試行の右の数字に 3 を加えたものとなるようになっている．しかし 8 試行目までは「左+中央=右」という考え方をしても，正解になるような組み合わせを提示した．これによってほとんどの被験者は「左+中央=右」という誤った仮説を形成する．9 試行目からは「左+中央=右」仮説が成立しない組み合わせが提示される．最初は被験者は混乱するが，こうした試行を重ねたある時点で正しい仮説を生成することが可能になる．試行ごとに行われる被験者の言語報告は，正しい答えが出現したポイントと一致した．しかし，眼球運動を分析すると，これとは異なる結果が得られた．8 試行目までの眼球運動はほとんどが横方向のものとなっている．しかし，9 試行目以降は徐々に縦方向の眼球運動が徐々に増加し，正しい仮説の発見の数試行前からは縦，横方向の視線移動がほぼ同数になる．この結果は，視線移動においては発見のかなり前から，適切な方向への修正がなされていることが示している．この結果もまた言語化，意識化とは異なるレベルでの処理が洞察において重要な役割を果たすことを示している．

洞察問題解決において意識レベルの処理と潜在レベルの処理が独立であるだけでなく，意識レベルの処理が洞察を妨害する可能性も存在する．Schooler et al. (1993) の実験では，6 題の問題が用意され，1 題につき 6 分の解決時間が与えられた．実験群では洞察問題解決の開始後 2 分でいったん解決を中断し，自分の用いるストラテジーを 1 分半で書き出させた．一方統制群はこの間，当面の課題とは無関係なクロスワードパズルを解決させた．この結果，自分のストラテジーを説明した実験群は統制群に比べて，その後の問題解決の成績が低下することが明らかになった (35.6% vs. 45.8%)．また問題解決中に think-aloud を行わせた実験では，これが洞察問題解決の成績を低下させることが明らかになった．なおこの言語化は洞察を必要としない，通常の問題解決を阻害することはない．Schooler et al. (1993) は，この結果を言語隠蔽効果と関連づけて解釈している．洞察問題

の解決においては，解が突然得られるということから，意識化あるいは言語化がしにくい認知プロセスが解の導出に対して主要な役割を果たすと考えられる．しかし言語化を求めることにより，言語化しやすい認知プロセスに焦点が当てられてしまう．ここには洞察に至るための主要な情報は存在しないので，洞察が隠蔽されてしまうとされる[1]．

さてこうした意識処理と潜在処理の乖離は，我々の行ってきたTパズルを用いた研究においても明確な形で現れている．2 章で述べたように，五角形ピースを基準線と平行あるいは垂直に置こうとする対象レベルの制約，また五角形ピースのくぼみ部分を他のピースで埋めようとする関係制約が強く働くことにより，このパズルの解決が阻害される．これらの制約を利用した試行は全試行の 70%（対象レベル制約）, 50%程度（関係制約）を占めている．しかし，これを逆に考えれば，これらの制約を用いない試行は各々30%, 50%程度存在することになる．こうした制約を逸脱した試行においては，解決につながる重要な情報が存在していることが多い．しかし被験者はこうした情報を適切に評価することが出来ずに，また新たな試行を始めようとする．一方，行動レベルでは着実に制約を逸脱した試行が時間とともに増加していく．ここには意識レベルの評価と行動レベルの変化の乖離が存在している．

以上の様々な証拠から，試行を重ねる中で潜在学習が生じ，これが行為を無意識的に調整することで洞察が生み出されているという仮説を考えることが出来る．

この仮説を検討する前に，これの前提となるいくつかの問題について論じる必要がある．

まず問題となるのは，意識のコントロールを離れた学習が可能なのかということである．直観的には，意識なしの学習は不可能であるかのように思えるが，潜在学習と呼ばれる研究領域では，こうした直感を覆す事実が蓄積されてきている (Reber, 1993)．村越・松井 (1995) によれば，潜在学習とは学習結果を言語化や意図的な利用は出来ないが，関連課題においての遂行において学習の成果が現れるようなものを指すとされる．洞察においても，学習結果の言語化や意図的な利用は出来ないが，行動に対してはポジティブなな影響を与えていると考えられる．したがって，洞察問題解決の過程では潜在学習が生じている可能性がある．

ただしTパズルを用いた洞察問題解決における潜在学習は，人口文法 (Reber, 1969)，系列反応課題 (Lewicki & Hoffman, 1987) などとは大きく異なっている．まずこのパズルにおいては到達すべき状態は与えられている．これは上記の潜在学習の題材とは異なっている．また上記の仮説では，意識的には単に「間違い」と見なされた配置について，無意識のレベ

[1]ただし言語化でも自らの行ったことを反省的に振り返るような言語化をさせた場合には，隠蔽効果は見られず，逆に解決を促進するという報告がなされている[2]．

ルである程度まで正しい評価がなされているという前提がある．これは単に正解，不正解がフィードバックされる潜在学習課題とは大きく異なる部分である．この問題について視覚系についての近年の知見を元に簡単な考察を 3.2 節で行う．

第２の問題は，こうして無意識的な評価に基づいて制約強度が実際に更新されるのかということに関わる．これについては，制約強度更新のメカニズムが基本的に強化学習に基づくことを考えれば，十分に可能性があるといえよう．強化学習は人間のみならず，動物やロボットの行動の学習に用いられているものであり，意識の存在を全く仮定せずに半ば自動的に働くものとなっている．よって，これについての検討は必要ないだろう．

もう 1 つの問題は，洞察において潜在学習が生じていることを示すための方法論に関わるものである．洞察問題解決中で起きていることが本当に潜在学習であるのか否かを決定することには困難が伴う．被験者が 1 つの試行を終えるたびに「何を学習しましたか」と聞くわけにはいかないし，仮に聞いたとしてもその答えが被験者の認識を正しく反映したものであるかもわからない．そこで有力な方法の 1 つとして，ヒント情報の閾下提示が考えられる．つまり見えるはずのないヒント情報を提示し，それによってパフォーマンスが向上するのであれば，洞察には潜在学習の成分が含まれていることを示すことが出来る．そこで，閾下刺激に関わる考察を 3.3 節で行う．

3.2　無意識的な評価

前節で述べた仮説では，ある刺激が呈示されるとそれに対する反応を生み出す情報処理プロセスと，それを（意識的に）認識する情報処理プロセスが存在している．そしてこの２つのプロセスはある程度まで独立して処理を進めることが出来ることが仮定されている．このようなことは実際に存在するのだろうか．直観的には，意識的な認識なしにそれに対する行動を行うということは不可能であるかのように思える．

Goodale & Milner (2005) は，一酸化炭素中毒により脳に損傷を受けた DF という患者についての興味深い研究を行っている．DF はこの障害により，線の検出を行うことが出来ず，結果的にものの形を認識することが全く出来ない状態になっていた．ところが，視覚を伴う課題であっても，行動的には全く健常者と変わらない場合があることがわかった．たとえば，DF の目の前に鉛筆をかざし，それが何かを答えさせると全く答えることが出来ない．にもかかわらず，DF はその鉛筆に対して正確に手を伸ばして，適切なレベルで指を広げて取ることが出来るのである．つまり，与えられた対象の形も種類も何もわからないにもかかわらず，その対象に対す

る行為は適切に行うことが出来るのである．

一方，これとは全く逆の兆候を示す視覚運動失調という障害も存在する．これは，対象の認識は全く問題なくでき，それが何であるかを即座に答えることが出来る．しかしながら，その対象に対して行動を行うことが出来ない．たとえば目の前の鉛筆を鉛筆と認識できるが，それを手に取ることが出来なくなる．むろん運動機能に関わる障害はこの患者にはない．

こうしたことから，Goodale & Milner (2005) は，視覚は対象を認識するためのものと，行為を行うためのものの２つに分かれていることを主張する．この２種類の視覚は脳の情報処理とも整合的である．脳における視覚処理には，２つの経路があることが知られている．１つは腹側経路 (ventral stream) と呼ばれるものであり，一次視覚野から側頭葉に至る経路である．もう一方の背側経路 (dorsal stream) は一次視覚野から MT 野，MST 野を経て，頭頂葉へと至る経路である．DF のような患者は一般に腹側経路のどこかに障害があり，視覚運動失調の患者は背側経路のどこかに障害がある．だとすれば，腹側経路では対象の認識が行われ，背側経路では行為を行うために必要な知覚が行われていると考えるのが合理的である．

このような視覚処理における二重経路の存在，特に背側経路は，洞察問題解決の潜在性を解明するための有益なヒントを与えてくれる．それは意識せずに適応的な行動が可能であるという点にある．洞察に至る被験者も，何が解につながるかについての明確な意識を持たないまま，徐々にその行動を適切なものへと変化させていく．その背後には背側系の処理が関係してる可能性があるのではないだろうか．特にＴパズルのような課題はなぞなぞのような洞察課題とは異なり，知覚と行為がきわめて重要な役割を果たしていることを考えると，この可能性は十分に探求に値するものとなるのではないだろうか．

ただし Goodale と Milner の研究とＴパズルとの間には重大な違いも存在する．彼らの研究で，DF の背側系がうまく働くのは行為の対象が眼前にあるときだけであり，それをイメージで行う場合にはうまく働かないことが示されている．一方，通常のＴパズルにおいては 2.5 節で述べたような特殊な実験環境でない限り，目標となる対象は眼前には存在しない．

しかしこれについては次のように考えることが出来る．確かに DF は損傷により腹側系の処理が適切に働かなくなっていたので，もっぱら背側系の処理のみで行為を行っていたと考えられる．しかし健常な人間においては，この２つの経路は神経学的に密接につながっており，絶えず情報のやりとりを行っているとされる．

だとすれば，意識的に把握されたＴという目標状態についての情報が，背側経路の情報処理に入り込み，その洗練された評価メカニズムがＴとの誤差成分を検出している可能性は検討に値すべきものと考えられる．

3.3　閾下刺激の処理

洞察問題解決中に，意図的，無意図的に被験者は誤った配置や，部分的に正しい配置を行う．解決の直前までは，これらは顕在的なレベルではすべて失敗として処理されてしまう．しかし，潜在的なレベルでは配置から得られる情報に基づき，それまでの制約強度を変化させ，より適切な方向へと進んでいる．これが我々の仮説である．

実際に，被験者の一部は問題解決の中盤あたりでは「全くわからない」，「できない」などの感想を漏らすことがある．しかしそうした被験者であっても，制約を逸脱した試行は徐々に増えてきているのである．つまり，意識レベルと行動レベルの間には乖離が存在している．

それでは問題解決中の学習が潜在レベルで生じていることはどのようにして明らかに出来るのだろうか．たとえば，一定時間，あるいは試行ごとに問題解決を中断させ，その間に何を学習したかを直接聞くという方法があるかもしれない．もしこのように直接聞いても被験者が適切に答えられないにもかかわらず，行動上は適切な方向に変化しているのであれば，これは潜在学習が起きている証拠と考えることが出来るかもしれない．

しかしこの方法にはいくつもの問題がある．第 1 に，言語報告を行わせることで被験者の洞察が妨げられる可能性がある．前述した言語隠蔽効果の実験が示すように，言語報告は洞察を選択的阻害する危険性がある (Schooler et al., 1993)．第 2 に，頻繁な中断と言語報告を行わせることにより，問題解決が通常のものとは異なってしまう危険性も存在する．第 3 に，言語報告が信頼できるかどうかの問題もある．特に解決後などに回顧的な報告をさせると，作話をしてしまう危険性が高い (Nisbett & Wilson, 1977)．第 4 に，言語で表現は出来ないが，何らかの学習が意識レベルで行われている可能性も存在する．つまりわかってはいるのだが，うまく言葉で表すことが出来ない可能性である．第 5 の問題は，これがもっとも大事だが，上記の方法は厳密な意味で学習「中」のことではなく，学習「後」のことを測定することになる，というものである．つまり，これらの方法は，ある試行を行った後に，その試行のことについての言語報告を求めることになってしまっている．よって，この種の言語報告を求める方法は，本研究の仮説の検証にとって適切な方法とは言えない．

学習の潜在性を言語報告や事後的なテストによらずに明らかにするための 1 つの方法として，閾下刺激の呈示が考えられる．すなわちヒントとなる情報を閾下で呈示すれば，それは意識的な処理を受けることはないので，確実に潜在的な学習過程が使われたかどうかを検討できるはずである．

こうした閾下刺激を用いた研究としては，単純接触効果に関わるものを挙げることが出来る．単純接触効果は，Zajonc (1968) の次のような実験

で示された．彼は漢字を刺激にして，被験者にこれを様々な頻度で提示した．その後に，提示した漢字の意味を推測させると，提示頻度の多かった漢字はそうでない漢字に比べて肯定的な，好ましい意味を付与されることを発見した．

これを受けて，Kunst-Wilson & Zajonc (1980) は 1 ミリ秒という極端に短い時間で刺激（不規則な八角形）を呈示した．1 ミリ秒の刺激呈示は被験者にまったく知覚意識を生じさせることがなかったが，Zajonc 同様の効果が得られた．さらに単純接触効果のメタ分析を行った Bornstein (1989) は，単純接触効果は閾上の刺激呈示よりも，閾下の方がより強いことを明らかにしている[3]．

こうした効果をもっともうまく説明するものとして，知覚的流動性誤帰属説というものがある．これは繰り返しの呈示により，処理が流暢に行われるようになると，その流暢さが刺激自体の好ましさに誤って帰属されることを主張する．また Kunst-Wilson & Zajonc (1980) の実験は，これが閾下刺激，つまり意識できないものについても成り立つことを示している．

この説明の枠組みは洞察問題解決においてもそのまま適用可能であると考えられる．つまり，被験者はインパスに陥っている状態にあっても一定程度の割合で適切な配置を行う．こうした配置を何度か見ることにより，それに対する知覚的流暢性が高まる．すると，そのような配置を好む傾向が高まってくる．これによってさらに同じような配置を行いやすくなり，結果として洞察が得られるというものである．

また逆のケースも考えられる．たとえば Veling, Holland, & vanKnippenberg (2007) は文字を検出する課題を行った際に，妨害刺激として用いられた刺激の好ましさが下がることを明らかにしている．つまりあるゴールの達成に対して，それをじゃまするものの評価を下げると言うことである．こうしたことは，洞察問題解決においても生じている可能性がある．対象制約や関係制約に沿った誤った置き方をした場合に，それではうまくいかないので，それらを抑制しようとする．抑制しようとすることで，そうした配置に対してネガティブな評価が与えられる．これによってそれらをさらに抑制することが進み，結果として制約を逸脱した配置の比率が増加するというものである．

ここで検討しておくべきことがある．実際の洞察問題解決においては，自らが組み合わせたピースは明確に見えており，またそれに対して意識的な判断が下されている．だとすると，閾下刺激を呈示することは，実際の問題解決状況を正しく反映していないことになる．

この問題に答えるには，まず情報処理プロセスの各段階とその処理の県財政，潜在性を検討する必要がある．人間の情報処理を考えると，刺激の

[3]ただしこの結果については，他の研究との一貫性や，メタ分析のサンプルの取り方に問題があるとの指摘がある (生駒, 2008).

表 3.1: 刺激の処理と学習における潜在的，顕在的処理

刺激処理	学習	タイプ	
1	顕在	顕在	通常の問題解決
2	顕在	潜在	洞察問題解決
3	潜在	顕在	不可能
4	潜在	潜在	本研究での問題解決

処理とそこからの学習の 2 つのプロセスをおおざっぱに分けることが出来よう．刺激の処理にも顕在的な処理と潜在的な処理があり得る．前者は通常の対象の認識プロセスに該当し，後者は閾下刺激の処理プロセスに該当する．学習についても同様に顕在的学習と潜在的学習が存在するだろう．意識的なアクセスやコントロールが可能な顕在的学習と，そうしたことが出来ない潜在的学習である．

表 3.1 に示したように，刺激処理と学習の 2 つの側面において顕在か潜在かを区別すると 4 つの場合が存在する．本研究の仮説は，表 3.1 の 2 であり，洞察問題解決では，刺激処理が顕在であり，学習が潜在というものである．つまり，試行を行い，それを実際に顕在的に知覚し，それとゴールとの差に基づいて，制約強度の更新が行われるのだが，この過程が潜在的であり，問題解決者の意識からのアクセスを阻んでいるのである，というのが本研究の仮説である．

この仮説の前半はある意味自明であり問題は存在しない．したがって研究のターゲットは後半の部分にある．すなわち潜在的な学習過程が存在すること，そしてそれが洞察問題解決に関連していることを示すことである．

閾上刺激を用いた場合，そこからの学習過程が潜在であるか否か，すなわち意識的なアクセスやコントロールが可能であるかどうかを検討することは上述したようにきわめて困難である．よって 2 の方法で仮説を検討することは出来ない．

さて重要なことはこの組み合わせの中であり得ないものが存在することである．それは 3 の処理された閾下刺激が顕在的に学習されるという組み合わせである．つまり閾下処理された刺激は閾下の学習過程でしか処理されないだろう，ということである．このことから，もし 4 のタイプの状況下で洞察問題解決に何らかの影響があるとすれば，それは学習のレベルにおいて潜在的な機構が働いたことを明らかにすることが出来る．

むろん，これが通常の洞察問題解決来過程と同じかどうかについては，さらなる検討が必要となる．しかし，少なくとも洞察問題解決のプロセスが，潜在的な学習を行う機構と関連しうることは明らかに出来ると考える．

3.4　研究仮説

これまでの考察から次のような仮説的なプロセスを考えることが出来るだろう．

1. 問題解決者は初期に用いる不適切な制約によりインパスに陥る．
2. しかし制約の選択は確率的であるために，制約を逸脱した試行も一定程度の割合で生じる．
3. そうした制約を逸脱した試行から有益な情報が得られる．
4. この情報は意識レベルではうまく評価できないが，潜在レベルにおいては適切な評価を受ける．
5. その結果，被験者には意識できないレベルで強化学習が進む．
6. 強化学習により影響を受けるのは行動レベル，行為の調整のレベルであり，これによって徐々に適切な試行が増加する．
7. 適切な制約を用いた試行がある時点で意識レベルで把握され，これが Aha 体験を生み出す．

本研究では特に 4,5 に焦点を当てて，この段階での潜在的学習機構の働きを検討する．具体的には，パズル解決のヒントとなる画像を閾下で呈示し，その効果を検討する．もし閾下呈示されたヒント情報が洞察問題解決を促進するのであれば，4，５のプロセスで潜在学習メカニズムが働くという仮定が妥当であることの保証が得られることになる．

またこうした潜在メカニズムが洞察問題解決に関与することが実証されれば，７で表した洞察の突発的な性質についての説明を与えることにもなるだろう．すなわち，洞察が突然のひらめきと感じられるのは，その処理の一部が意識的なコントロールとは離れたところで行われるからであると考えることができる．さらに言えば，我々が洞察において発見するのは，我々の潜在処理の結果なのであるということも出来よう．

第4章　閾下刺激を用いた洞察研究[1]

4.1　実験1

我々の仮説は，洞察問題解決には潜在的な処理を受けた情報を利用するメカニズムが組み込まれていることが前提とされている．本実験では，この前提の妥当性を検討する．もし洞察が我々の予測とは異なり，潜在的なレベルで処理された情報を利用するためのメカニズムを含んでいないとすれば，意識的に把握できない情報をどれほど与えても洞察問題解決は促進されないだろう．

この前提を検討するために，Tパズルの正解図形を閾下呈示し，それによってパフォーマンスに変化が現れるかを検討する．閾下知覚は顕在意識に上らず，潜在的な処理のみが行われる．よって，もし洞察問題解決過程において閾下刺激を与えその効果が洞察問題解決に表れたとしたならば，それは洞察問題解決が潜在的に処理された情報を利用可能であることを示す証拠となる．

実験で用いた閾下呈示画像は以下の図4.1である．左側の刺激が2秒呈示された後，中央に示した形でTパズルの正解の配置が1/30秒呈示され，その後は右に示した刺激が2秒呈示される．こうしたパターンを2分半に渡って繰り返す．PC上で編集されるため一コマは1/30秒以下にはならない．このレベルの呈示時間はふつうは意識的に把握するのに十分な時間であるが，前後の刺激を呈示することでマスキング効果が生じるので，結果として被験者のほとんどはこのTパズルを認識することは出来ない．なおこの映像は映像の良さを評価するというダミー課題の形で，問題解決の前に与えられた．

図4.1: 実験で使用された閾下ヒント映像.

[1]本章は西村友との共同研究に基づいている．

実験のロジックは次のようなものである．Kunst-Wilson & Zajonc (1980) らの実験から明らかなように，閾下刺激であっても単純呈示効果が見られ，呈示された刺激に対する選好が高まる．もし洞察問題解決メカニズムが潜在情報の利用が可能であるならば，T の正解の配置刺激に含まれる情報に対する選好が高まることになる．これを見た被験者はその後の問題解決過程で五角形ピースの正しい配置への選択傾向が強まり，より正解にたどりつきやすくなることが期待できる．

4.1.1　方法

被験者　青山学院大学学生 27 名．パズルを既に知っている者 (5 名) と映像の段階で閾下ヒント画像に気づいた被験者 (2 名) は分析から (計 7 名) 除外した．残りの 20 名を実験群 10 名，統制群 10 名にランダムに割り当てた．

実験器具　図 4.1 に示した閾下画像を含む映像を用いた．映像は移り変わる絵の間にヒント画像を挿入したものである．1 つの映像は 36 秒で閾下画像は 2 秒に一度の間隔で 17 回入る．映像は 4 パターン用意されており，すべての映像を見せると計 2 分半程度，閾下ヒントの提示回数は 68 回となる．映像は Adobe Premiere を使用して作成，Real OnePlayer のシアターモード（背景が黒になる）で再生した．

手続き　実験群の被験者はまず図 4.1 が呈示される PC の前に着席した．被験者に，映像の意図を探るような疑念を抱かせないため，この映像は映像評定課題に使うものであると告げ，映像を見終わった後あらかじめ用意してある評定用の用紙に映像の印象を記入するように教示した．

映像を見せる段階が終わったら次にパズル課題へ移行した．机の上にパズルを置いて，まず被験者に T パズルを知っているかどうか尋ねた．被験者が解いたことのある場合は後に行う分析から除外したが，その場合もパズル課題は行わせた．机上には T パズル完成時と同寸大の外枠を示した完成図が置いた．被験者はそれを見てもよいがその紙の上で作業を行うことは禁止された．

15 分経っても解けない被験者に対しては「五角形ピースのくぼみ部分は他のピースで埋めないで下さい」と関係制約の逸脱を促すヒントを与えた．それでも解けない被験者に対しては 20 分で二つ目の「五角形のピースは縦や横にして置かないようにして下さい」と対象制約の逸脱を促すヒントを与え，25 分で「五角形ピースはこのように置いてください」と五角形ピースの正しい置き方を教示した．

最後に映像による閾下ヒント画像の効果があったのか否かを調べるための確認課題を行った．図 4.2 のように実験の始めに使用した映像と同じ映像で閾下呈示画像の図柄を替えたものを使用した．

図 4.2: 確認課題で使用された映像.

使用する閾下画像は図 4.3 に示す 4 つの図形であった．Kunst-Wilson & Zajonc (1980) ではランダム 8 角形を用いたので今回の実験では特徴の異なる 8 角形を製作して使用した．被験者に映像を見せた後，その映像に閾下画像として使用されていた図形とそうでない図形の２つを並べて（図 4.4），どちらがより好ましく感じられるかを判定してもらった．１人の被験者に２つの映像の評定を行わせる．閾下呈示された図形が図 4.4 の a と b である被験者群と図形が c と d である被験者群の二群を設ける．これは図形の形による選好という結果を避けるためである．強制二択の際は a と c，b と d，という並べ方となった．

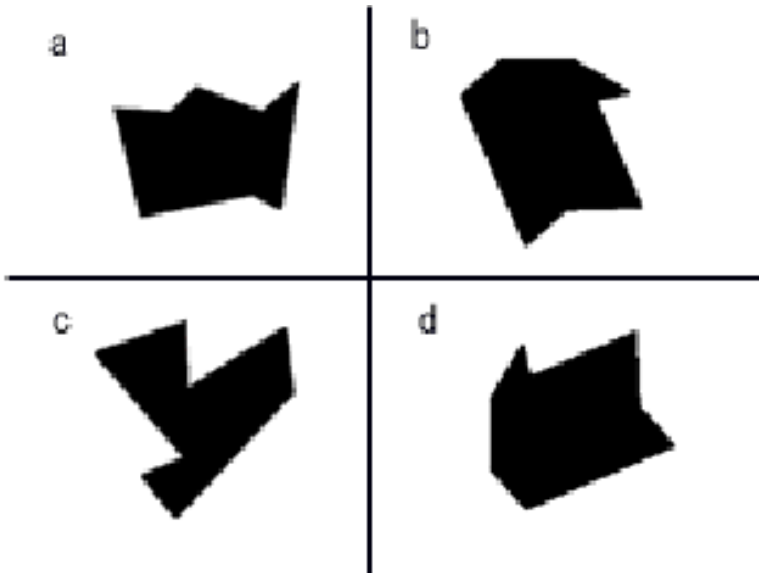


図 4.3: 確認課題で使用された閾下刺激.

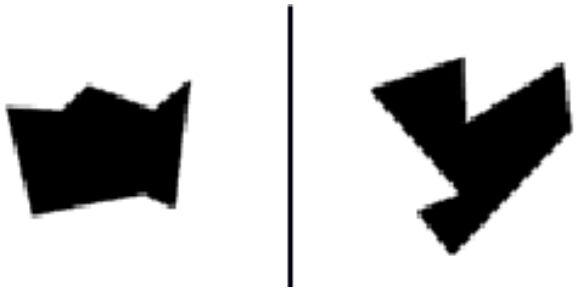


図 4.4: 強制二択の呈示例.

4.1.2　結果

分析に際しては正答率，解決時間などの全体的指標に加えて，セグメントという単位に分割をした上での制約逸脱率などを用いた．セグメントとは概念的には「試行」に相当するものである．操作的には 1 つのピースを別のピースに接続することにより始まり，それらを分離することによって終了すると定義する．

実験結果は表 4.1 のようになった．15 分でヒントが出る前に解決できた自力解決者は，実験群で 10 人中 5 人，統制群で 9 人中 2 人であり，実験群のほうが自力解決者数が多かったが有意ではなかった．しかし両群の解決時間には有意な差が見られた ($t(1, 16) = 2.11, p < 0.05$).

表 4.1: 結果の概要.

	解決時間 (秒)	総セグメント数	自力解決者 (%)
実験群 (n=10)	687.6	51	50
統制群 (n=9)	1117.3	68.7	22.2

次に各群でどの程度制約逸脱があったかを比較する．セグメントごとに対象，関係の制約の逸脱の有無をカウントし，その割合を求めた．結果は表 4.2 に示したとおりである．統計的検定の結果，両群には有意な差は見られなかった．

表 4.2: 実験群と統制群の制約逸脱.

	対象制約 (%)	関係制約 (%)
実験群	14.3	14.9
統制群	10.8	20.9

次により詳細に分析するために解決までの過程をセグメント数により 4

分割してみる．その結果次のようになった．

表 4.3: 制約逸脱率の時間的変化

	対象制約				関係制約			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
実験群	27	23	19	19	11	21	14	36
統制群	11	21	11	32	23	11	26	33

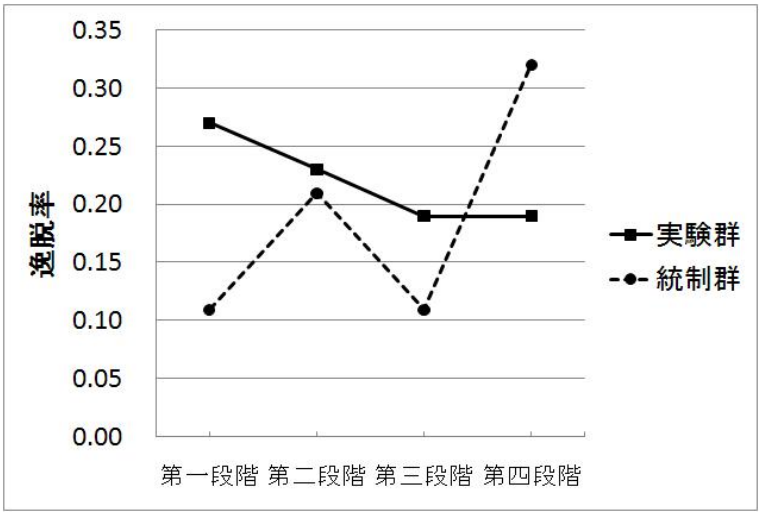


図 4.5: 対象制約逸脱率の時間的変化.

対象制約の逸脱数において統制群では前半少なく後半逸脱数が増えてくるが，実験群では初めから逸脱数が多く後半になって落ち込んでいる．より分かりやすくなるように，2 段階に分けた図 4.7 と図 4.8 を示す．前半は第一段階と第二段階を合わせたもの，後半は第三段階と第四段階を合わせたものである．

このように対象制約の逸脱では明らかに両群は逆の傾向を示している．検定の結果有意な差は見られなかったものの，対象の制約においては統制群に比較して実験群でパズル課題の序盤での逸脱頻度が高い傾向にあるように見える．一方関係制約のほうは実験群と統制群との間にそのような傾向はまったく見られない．

対象制約におけるこの両群の乖離は閾下ヒント情報の影響と考えられる．すなわちパズル課題前に呈示した閾下ヒント情報の影響が表れたからこそ課題序盤で逸脱頻度が高くなった可能性がある．関係制約には影響が出ずに対象制約のみに出たのは，閾下ヒント情報が五角形ピースの置き方に関してのみ影響を与えたからだと考えられる．事前に与えた閾下ヒント

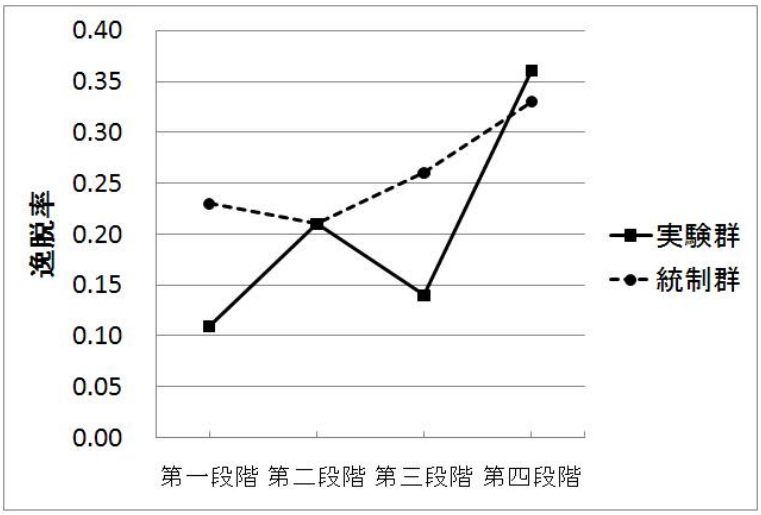


図 4.6: 関係制約逸脱率の時間的変化.

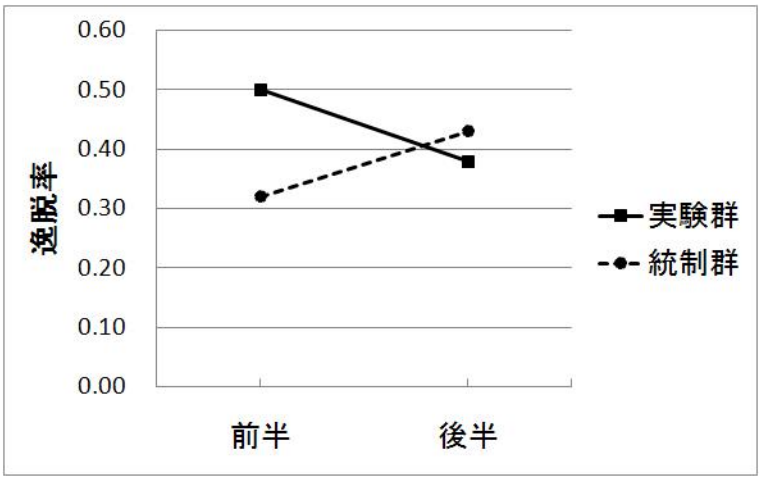


図 4.7: 前半，後半の 2 段階で見た対象制約逸脱率の変化.

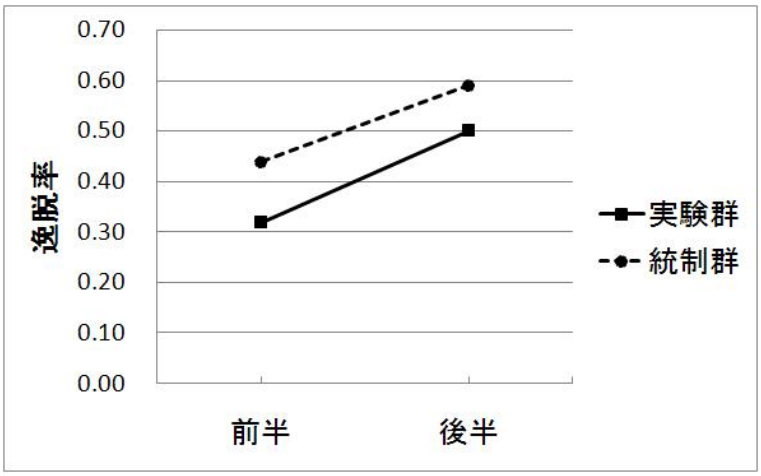


図 4.8: 前半，後半の 2 段階で見た関係制約逸脱率の変化.

情報では五角形ピースのみが強調して表示されていた．したがって実験群の被験者はこの強調表示された五角形のみに注意が向き，他のピースあるいは五角形と他のピースの関係についての情報は処理されなかったためではないかと考えられる．

もしこの推測が正しいとすれば，実験群の被験者の五角形ピースの置き方には特徴的な置き方が多くなっているはずである．そこで次に対象制約逸脱時の五角形の配置の方向を分析してみる．図 4.9 のように制約を逸脱したときの五角形の配置を 8 種類に分類して各々の頻度を調べた．結果は表 4.4 のようになった．

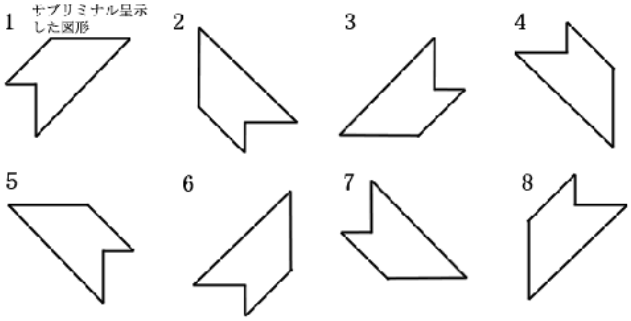


図 4.9: 五角形配置型.

閾下呈示画像の効果が単純に表れていると考えれば実験群で 1 型の配置数が多くなるはずである．この結果を見る限りでは特別 1 型が多いわけではない．しかし実験群における対象制約の逸脱はセグメント分割した前半

表 4.4: 五角形の配置型別平均配置回数．番号は図 4.9 に対応している．

	1	2	3	4	5	6	7	8
実験群	2.2	1.9	3.4	1.8	2.3	1.4	0.6	0.5
統制群	2	1.33	2.11	0.89	1.67	1	1	0.44

に多く見られたので，この配置型別のデータも前後半に分けてみる．その結果，実験群では前半が 1.90，後半が 0.30 と急激に減少しているのに対して，統制群では 0.78 から 1.11 へと若干上昇している (図 4.10).

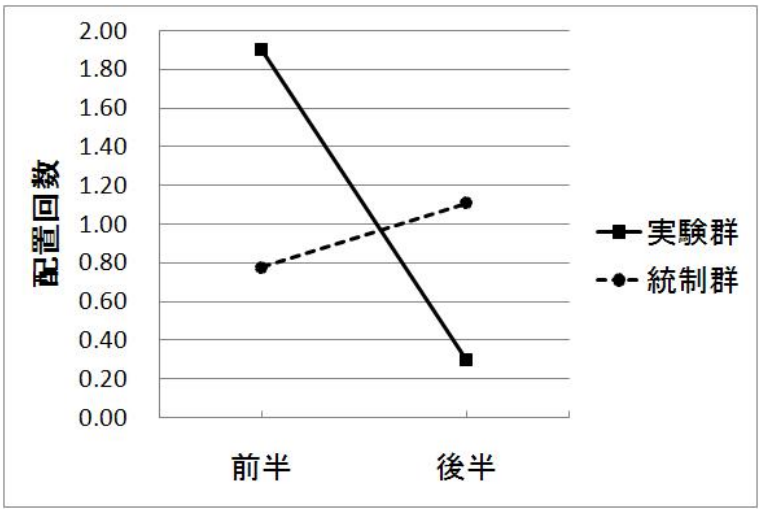


図 4.10: 1 型配置回数の時間的変化.

グラフを見る限り差があるように見えるが検定の結果，有意な差は見られなかった．ここで閾下画像の効果はなかったと結論する前に他の可能性を探ってみる．その一つに閾下画像の図形のすべてが知覚されたのではなく図形の一部分だけが知覚されたのではないかという可能性が挙げられる．例えば閾下呈示図形における 5 角形の上部の水平な線のみが知覚されたということも考えられる．そうだとすると影響として現れる結果は 1 型配置だけではなく同じく上部に水平な線を持つ 5 型配置の回数も増えるということになる．図 4.11 に，次に 1 型配置回数と 5 型配置回数を合計して比較した結果を示した．

図から明らかなように実験群では前半 3.30 が後半が 1.20 と減少を示すのに対して，統制群では 0.89 から 2.67 へと増加を示している．分散分析を行った結果，交互作用が有意であった ($F(1, 16) = 5.209, p < 0.05$)．1 型と 5 型以外の配置型では有意な差は見られなかった．このことから実験群の 1 型と 5 型で大きく差が出ていることが分かる．これは 5 角形の上部の

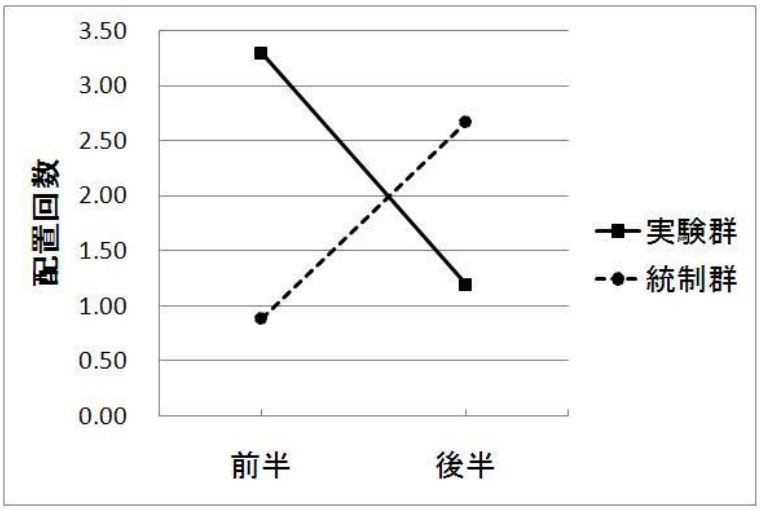


図 4.11: 五角形の 1 型，5 型配置の時間的変化.

水平な線の部分のみが知覚されたのではないかという考え方を支持する結果である.

この結果実験 1 では解決時間の差と，対象制約逸脱時の五角形配置に特徴が見られた．閾下呈示したヒント情報の効果が一定程度見られたと考えられる.

なお，確認課題において二項検定の結果有意な差は見られなかった．また最後に行う確認課題での各図形に対する選択数を比較してみたところ特定の図形（図形 1）に選好が偏り，図形固有の好ましさが選択に影響を与えてしまったことが伺える．よってこれ以上の分析は行わない.

4.2　実験２

実験 1 では閾下呈示したヒント情報が特有な形でパフォーマンスに変化を与えることが明らかになった．統制群との比較では有意差は見られなかったが，15 分以内に解決できた自力正解者が 50%であることは強調すべき事柄である．鈴木 (2002) にも報告があるように，特殊なヒント情報を与えた場合を除いて，T パズルの正答率が 30%を超えることはなかった．今回の実験の実験群がこれを大きく上回る結果を示したことは，解決時間での有意差の情報とともに，閾下呈示した情報が洞察問題解決のメカニズムに利用されたことを示している．さらに，制約緩和，特に対象制約の緩和のパターンは実験群において特異的であった．一般に制約緩和は試行を重ねる従って進む (Suzuki et al., 2001)．確かに条件により制約がほとんど緩和されない場合もあるが，実験群においてみられたような初期の制

約が強化されていく（つまり制約逸脱率が下がる）パターンはほとんど観察されたことがない．このこともまた事前に呈示した閾下ヒント情報が影響したことを示している．以上のことは，洞察問題解決メカニズムが潜在的に処理された情報に対して開かれたものになっているという，我々の当初の仮説をサポートするものと言える．

しかしながら実験 1 にはいくつかの問題点も存在する．まず効果が現れたと言っても強い効果ということは出来ず，指標によって，また指標の取り方によって，結果が変化していた．そこで実験 2 では二つの変更を行い，より安定した形で閾下情報呈示の効果が見られるようにする．

実験 1 の問題点として映像において注視点を定めなかったということが挙げられる．そのことにより閾下ヒント情報が全被験者で同様に知覚されなかった可能性が考えられる．閾下ヒント情報は映像評価課題という文脈で呈示されている．この場合，被験者は映像の様々な部位に着目する可能性がある．よって閾下情報呈示直前には，T が存在していない部分，あるいはヒントとしてあまり役に立たない T の部分を見ていた可能性も否定できない．こうしたことが，実験群の一部の被験者でしか 1 型 5 型配置数前半有意な傾向が現れなかったことに関係している可能性ある．

そこで新たな実験として，注視点を定めて映像を呈示する手続きを導入した．また，その際注視点の位置を二つ用意して比較してみるということが考えられる．普通に考えればこのパズルの鍵は 5 角形のノッチの直角の部分である．つまりその直角部分を反映した置き方（1 型と 6 型）が多く見られるはずである．しかし今回の実験では 5 角形上部の水平な線を反映した 1 型と 5 型の逸脱数が多かった．注視点をノッチ部分と T 図形上部の水平線部分の二つ用意することでどちらが重要かを検討した．

もう 1 つの変更点は，ヒント情報呈示のタイミングである．前回の実験では解決時間の促進があまり見られなかったことから，これを改善するためにパズル課題の前ではなく遂行途中に一旦中断させて映像を見せるという変更を加えた．パズル課題の解決は対象と関係の両制約からの逸脱が起こったときに可能となる．前回の実験では関係制約の逸脱はパズル課題の後半に向かって上昇していた．それに対して対象制約の逸脱は前半に多く，後半にかけて減少していた．これは通常の傾向とは異なる．通常は対象制約関係制約両者ともに逸脱数は少ないところから徐々に上昇していく．このことから，対象制約逸脱数が序盤多く後半に減少していったという結果は，事前の閾下ヒント情報呈示の影響だと考えられる．そこで関係制約の逸脱が上昇してくる時間を見計らって閾下画像を呈示することにより，対象と関係の両制約からの逸脱が見込めると考えられるのである．

パズル課題を中断して評価課題を行わせる時間としては Suzuki et al. (2001) の実験を参考にする．彼らの実験はパズル課題中に一度中断し，図

形の評価課題をさせるというものであった．そこではパズル課題遂行時間が 2 分の群と 7 分の群の間で比較が行われた．その結果有意な差は見られなかったものの 2 分群に比べて 7 分群で対象関係両制約逸脱型の図形に対する評価が高くなっている．前回の実験の統制群のデータを見てもセグメント分割の第三段階あたりから関係制約の逸脱が増えていて，またこの第三段階は時間に当てはめると課題開始からおよそ 7 分程度であるため，映像課題を行うのはこの 7 分あたりが最適なのではないかと思われる．

4.2.1　方法

被験者　青山学院大学学生 37 名と大学院生 3 名．被験者は焦点位置が水平部分と垂直部分の二つの実験群と焦点位置を設けない統制群の 3 群にランダムに割り当てた．

実験器具　図 4.12 に示したように，実験 1 と基本的に同様だが実験 1 で用いた映像と同じものに焦点位置を赤で記した映像を使う．焦点位置がノッチ部分と水平線部分となる二つの映像を用意する．

図 4.12: 垂直部焦点映像（水平部焦点映像は五角形上部に赤点が表示される).

手続き　基本的には実験 1 と同様である．映像を呈示するのがパズル課題の前かパズル課題の途中かの違いである．まず被験者に T パズルを見せ解いたことがあるかどうかを尋ねる．その後パズル課題を行わせる．7 分経過したところで一旦パズルを中断させ映像評定課題へ移行する．評定課題では実験 1 同様，映像に対する質問紙による評定を行わせる．映像を見る際は赤い点から視線をずらさないよう教示する．映像課題が終了したら再びパズル課題を行わせる．

またパズル課題終了後に実験 1 同様の閾下呈示画像の効果を調べるための確認課題を行う．なお今回は実験 1 の反省を活かし図形固有の好ましさという要因を排除するため事前に今回の実験とは無関係の 7 名の被験者により 30 個の図形に対する好ましさを評定させた．使用した図形は閾下単純呈示効果に関する一連の研究 Vanderplas & Gravin (1959) で使用されている無意味図形（八角形）であった．サブリミナルカットとして使用した図形は，その図形集の中から Vanderplas の算出した連想値と，今回事前に評定させた好ましさの値，この二つの値の近い図形選び，対にして使用する．サブリミナル単純呈示効果に関する Seamon, Brody, & Kauff (1983) の実験では一つの図形を 5 回ずつ呈示して効果が見られているので，今回の実験ではそれに従い呈示回数を前回より減らし一つの図形を 12 回呈示することにする（実験 1 では 68 回）．

4.2.2　結果

実験の結果は表 4.5, 4.6 のようになった．15 分でヒントが出る前に解決できた自力解決者は，水平焦点群で 7 人中 3 人，垂直焦点群で 9 人中 1 人，統制群で 8 人中 1 人であり，水平焦点群で自力解決者数が多くなっている．しかし検定の結果，解決時間，総セグメント数，対象制約逸脱数および関係制約逸脱数，すべてにおいて有意な差は見られなかった．

表 4.5: 実験 2 の結果の概要．

	解決時間（秒）	セグメント数	自力解決率 (%)
水平群 (n=7)	984.3	81.9	42.9
垂直群 (n=9)	1161.3	85.2	11.1
統制群 (n=8)	1214.4	78.0	12.5

この実験は実験群にはパズル開始から 7 分で閾下ヒント画像を呈示することになるが，この 7 分を境に制約の逸脱数がどう変化するのか見てみる．図 4.13，図 4.14 は 7 分を境に対象，関係両制約逸脱数を分け，その逸脱数を前半あるいは後半の全セグメント数で数で割った割合である．

グラフに示されているように対象制約関係制約ともに水平焦点群で閾下ヒント画像呈示以降の逸脱比が伸びているように見えるが，統計的に有意と言えるほどの差はなかった．

次に五角形の配置別頻度について，7 分前と後で各々の配置の仕方にどの程度の変化が生じたのかを分析した．結果は表 4.7 に示したとおりである．

実験 1 では実験群で 1 型と 5 型の配置型が多くなったが，今回の実験では水平焦点群で 5 型配置の増加率が大きい．水平焦点群は 1 型，2 型，3 型の割合も大きいが，他の 2 群は目立った増減は見られない．配置型要因 (1〜8 型) と時間 (7 分前後) の二要因による分散分析を行ったが，群間に有意な差は見られなかった．

次に実験 1 と同様 1 型，5 型，1 型と 5 型と分けて分析してみる．閾下呈示で五角形の上部の水平線が影響を与えているならば，水平焦点群で 1

表 4.6: 制約逸脱率 (%)．

	対象制約逸脱率	関係制約逸脱率
水平群	15.6	25.0
垂直群	14.1	24.9
統制群	7.5	18.1

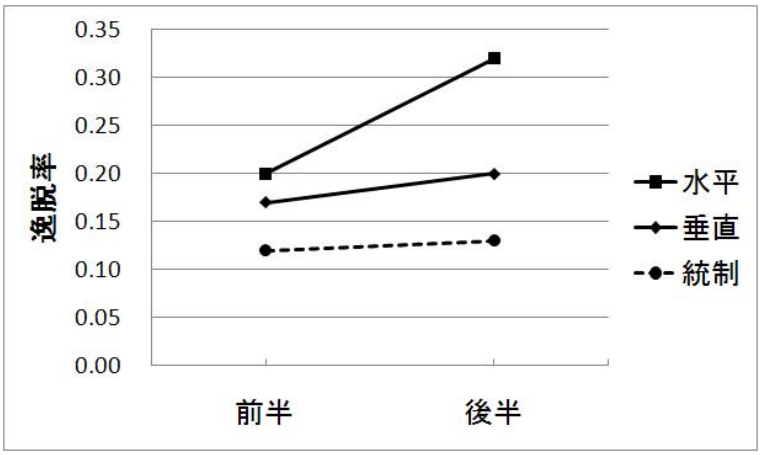


図 4.13: 対象制約の逸脱.

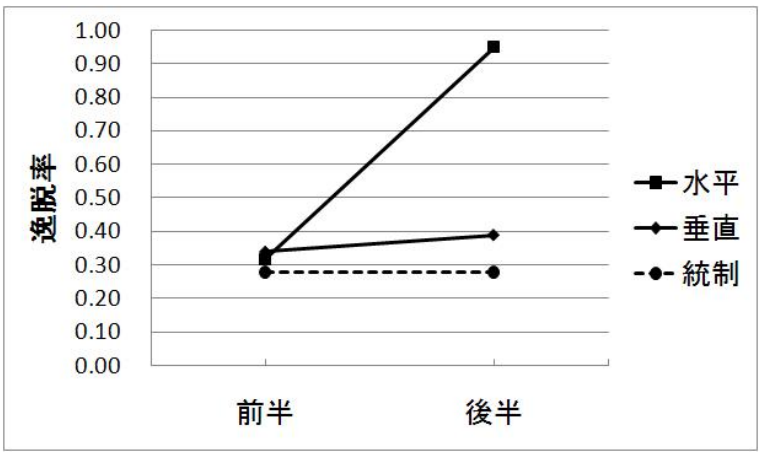


図 4.14: 関係制約の逸脱.

表 4.7: 閾下刺激呈示前後の配置パターンの変化．＋は前半から後半にかけて増えたこと，ーは減ったことを示す.

	1 型	2 型	3 型	4 型	5 型	6 型	7 型	8 型
水平群	+2.6	+4.0	+4.2	-0.4	+8.4	+0.2	-0.9	-3.8
垂直群	+0.3	+1.4	+2.3	-1.2	1.0	0.0	-0.2	-1.1
統制群	+0.4	+0.9	+0.2	+0.9	-1.1	-0.6	-0.3	-0.1

型と 5 型の配置型が多くなるはずである．

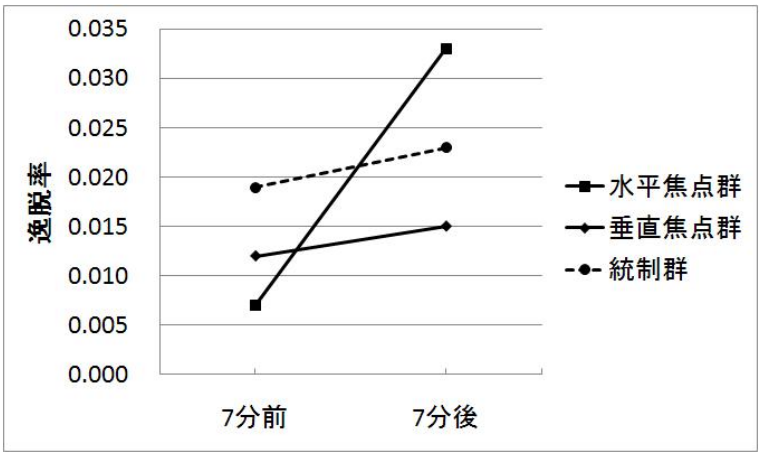


図 4.15: 7 分前後半における 1 型配置の割合．

まず 1 型の割合は図 4.15 のようになる．水平焦点群の 7 分後の 1 型配置の割合が他の 2 群に比べて格段に伸びているように見えるが，統計的に有意と言えるほどの差ではなかった．

次に 5 型配置の割合を見てみる (図 4.16)．こちらも 1 型の場合と同様の傾向が見られるが検定の結果統計的に有意と言える差はなかった．1 型と 5 型を合わせた割合でも有意差はなかった．有意差は見られなかったものの実験 1 と同様に実験群（水平焦点群）の 1 型 5 型配置の割合が増える傾向が見られた．

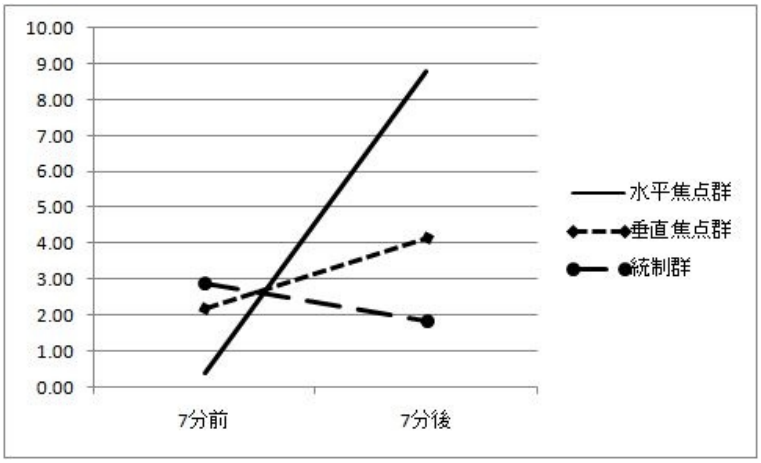


図 4.16: 7 分前後半における 5 型配置の割合．

確認課題の成績は 3 群ともチャンスレベルを上回る水準になかった．実

験群の自力解決者のみを抽出してみても彼らの成績が特別高いわけではなかった．図形自体の好ましさが影響していないか調べるため呈示時のペアの図形で二項検定を行ったところ，図形２，図形５，図形 10 に対する選好性が 5 %水準の有意差で確認された．また図形自体の持つ好ましさという問題が生じてしまったようである．3 群すべてで成績がチャンスレベルを上回らなかったのは Seamon et al. (1983) の実験に従い実験 1 のときよりも呈示回数を減らしてしまったことが挙げられるかもしれない．

実験 2 では，閾下ヒント刺激呈示の効果をより安定したものにするために，(1) 焦点の指定，(2) ヒント情報呈示のタイミングの２つの操作を加えた．まとめると，

- 水平群の自力解決者 (42.9%) は，垂直群 (11.1%)，統制群 (12.5%) に比べて高かった．
- 全体としての制約逸脱は，対象制約においては閾下ヒント情報を受けた水平群，垂直群は 2 倍程度となったが，関係制約においてはその差は小さかった．
- 制約逸脱率を前半と後半に分けて見ると，水平群のみにおいて上昇が見られた．同様の傾向は，閾下ヒント情報の呈示前後の逸脱率においても見られた．

となった．このように結果は予測する方向のものではあったが，統計的な検定はその有意性を保証しなかった．

4.3　考察

実験 1，実験２ともに実験群で自力解決者数が多くなった（実験 1 では統制群が 2/9 に対して実験群で 5/10，実験 2 では垂直焦点群が 1 /9，統制群が 1 /8 に対して水平焦点群が 3/7）．また解決に要する時間も，実験２では映像を見せる時間がパズル開始から 7 分経過した時点ということもあって，極端な解決時間の減少は見られなかったが，実験 1 では実験群で有意に短縮されるという結果が見られた．また実験２では映像を見る際の注視点というのを問題にしたが，これも実験 1 から導かれた，五角形ピースの上部の水平線が知覚され影響を与える，という仮説の通り実験群のうち水平焦点群のみで自力解決者数の増加が見られた．これらのことからしてすでにある程度閾下ヒント画像の効果が表れていたのではないかと考えられる．

さらに実験１，２ともに映像を見せた後の対象制約逸脱の割合が増えるという傾向も見られた．またヒント情報の閾下呈示の影響が端的に表れる

と考え分析した五角形ピースの配置法では有意な差は見られなかったものの，実験１，２ともに 1 型と 5 型の配置の割合が実験群で上昇（実験２では水平焦点群で映像を見せた後）した．この 1 型と 5 型の配置型の増加は先ほども触れた，五角形ピースの上部の水平線がパズル解決に影響を与えている，という仮説を裏づける結果である．これらのことを総合して考えると，閾下呈示情報の影響は十分ではないにしろ，完全に否定することは合理的ではないと考えられる．

だとすれば，洞察問題解決のメカニズムは，潜在的に処理された情報を利用するようになっていると考えられる．つまり失敗を繰り返す中で，意識されていない情報が，制約の選択に影響を与えていると考えられる．この利用がプロセスの中のどの部分でなされているのかを検討することが次の課題となる．これに加えて、前述したように閾下呈示情報の効果はそれほど大きなものではないので，より明確な形で結果が出るように実験を工夫する必要がある．

なおこの実験で確認課題として，先行研究で報告されているサブリミナル単純呈示効果が，今回実験で使用した映像の中でも表れるのか否かを検討した．しかしながら，図形自体の好ましさや呈示回数の問題から望ましい結果は得られなかった．Seamon ら (1983) の実験では実験２の確認課題で使用された映像の呈示回数よりも少ない回数の呈示でこの効果が見られたのだが，彼らの実験では 3 ミリ秒という極めて短い呈示時間だったことと，マスク刺激を用いていないことなど条件が異なるため、本実験と簡単に比較することはできない．

いずれにせよ確認課題での結果によって，サブリミナル単純呈示効果がなかったと考えるべきではないだろう．実験中の映像ではヒント情報の閾下呈示の効果は見られているのだから，確認課題における閾下呈示の回数を調整することを通して、実験自体を改善していくべきだと思われる．

4.4　展望

このように洞察問題解決プロセスに対するサブリミナルカットの影響は見られたと考えられる．洞察問題解決のプロセスが潜在的に成されている可能性が示されたのである．これにより洞察問題解決は潜在的なシステムによって担われている部分が大きい，という可能性が一定程度示されたと考えてもよいだろう．人間の創造的活動を担っている洞察問題解決という高次認知機能が潜在的システムにより成されている可能性がより強く示されたのである．これは顕在と潜在の二つのシステムの関係を巡る二つのモデルの在り方に影響を与える．潜在システムは単に顕在システムの下部組織に過ぎないという限定的な考え方は否定され，顕在と潜在はより独立し

た，別個の機能を担う，ある意味において対等な関係であるという考え方が一定の可能性を持つようになると思われる．

このことが示すところは大きい．今まで過小評価されがちであった潜在システムの重要性が浮かび上がってくるからである．洞察問題解決のような高次認知機能が潜在システムにより担われているとすれば，その他の高次認知機能なども潜在システムに担われている可能性が考えられるようになる．実際私たちは自分の知らぬうちに，重要なことに気付いたり，新しい発見をしたりしている．例えば科学者が科学的な発見をするとき，その発見に至るまでの過程を報告させると実際の認知活動と異なる場合が多い(岡田，1999）．彼らは自分たちの発見について意識化して説明することが上手くできないのである．科学的発見もそこに至るまでの作業は潜在的なレベルで行われている，という可能性が考えられるのである．科学的発見のような極めて高いレベルにあると思われる活動も潜在的に営まれている，という可能性が示唆される．

実際私たち人間は潜在的なレベルで支配されている面が多いように思える．サブリミナル効果にしてもそうであるし，分離脳患者に見られる右半球の行動への左半球による推測などや，果ては神経科学者リベットによる意図の発生以前の準備電位の話など，顕在的な意識の果たす役割はモニター程度でしかない，というような考え方もあるのである．これら顕在，潜在二つのシステムの関係を巡る議論はこれからますます成されていくことになるだろう．

第5章　閾下刺激による選好の変化[1]

5.1　問題

洞察問題解決は，突然のひらめきにより解が生み出されるものと考えられてきた．しかし，近年の研究によれば，問題解決者が意識出来ないレベルで制約が緩和され，これが解決につながることが示されている（鈴木・開, 2003）．すなわち，インパスの過程で行う様々な試行により，その試行を導いた制約がフィードバックを受け，初期には強い働きを持つ不適切な制約の強度が弱まる一方，部分的な成功をもたらす制約の強度が強まり，これによって洞察に至る確率が高まるのである．そして重要なことは，この制約の調整・緩和は問題解決者には意識されないということである．

ここには顕在的な処理と潜在的な処理（学習）の乖離が存在する可能性がある．これを直接的に検討したのが，4 章であった．彼らは，洞察を必要とする図形型パズル（T パズル）を用いて，問題解決の前にこのパズルの正解を閾下呈示した実験群と統制群のパフォーマンスを比較した．その結果，実験群は統制群に比べて予測された方向で制約の逸脱率が高まり，自力解決者が増加した．

本章では，この効果を 2 章で述べた制約の動的緩和理論から検討する．制約の動的緩和理論において，潜在学習の影響はどのレベルに出ると考えるべきなのだろうか．第 1 に考えられるのは，初期制約に対する影響である．個人差をあつかった 2.4 節では，自力で洞察に至る被験者は最初から制約を逸脱した試行が多いことが明らかになっている．4 章の実験 1 においては，事前にヒント情報を呈示することにより，解決時間レベルの促進が見られた．また初期の制約逸脱が統制群に比べて多いことも明らかになっている．よって閾下ヒント情報の呈示は，制約初期値に影響を与えている可能性がある．

第 2 の可能性は，評価の段階に対する閾下ヒント情報の効果である．個人差をあつかった 2.4 節では，自力解決者は T パズルの様々な状態への評価が，ヒント解決者に比べて適切な方向になっていることが明らかになっている．こうしたことから考えると，閾下ヒント情報はこの評価の関数を変化させる可能性も存在すると思われる．サブリミナル単純接触効果に関

[1]本章は松島潤との共同研究に基づいている．

する研究 (Kunst-Wilson & Zajonc, 1980) は，この可能性を示唆する．すなわち，問題解決中に行う試行の中で，閾下呈示画像（正解）と一致するものへの選好性が高まり，この試行を導いた制約の強度が増加し，結果として洞察が生み出される可能性がある．ただし，4 章では，関係制約の逸脱についてはこの予測と一致する結果が得られたが，対象制約についてはそうではなかった．対象制約の逸脱は試行を通して徐々に減少する方向に変化したからである．

そこで本研究では閾下呈示刺激を加えた問題解決だけではなく，T パズルの様々なパターンに対する評定課題を挿入し，上記の２つの解釈の妥当性を検討する．

5.2　方法

被験者：　題材である T パズルの解決を知らない大学生の被験者 20 名が，実験群と統制群にランダムに割り振られた．

題材：　問題解決課題として，４つのピースを用いて T の形を作るパズル＝T パズルが用いられた．組み合わせ評価課題は，Suzuki et al. (2001) に従って作られた．すなわち，このパズルの鍵となる五角形ピースと，残りの３つのピースのいずれか 1 つを組み合わせたものである．組み合わせ方は，対象制約（五角形ピースの置き方）と関係制約（五角形ピースとの接続の仕方）の逸脱の有無により４パターン存在する．したがって，評価刺激は対象制約の逸脱の有無 (2) ×関係制約の逸脱の有無 (2) ×接続ピースの種類 (2) の 12 パターンとなる．閾化ヒント画像は，映像評定課題と被験者には告げたダミー課題の中に挿入した．この課題では，ランダムなパターンからなる刺激を２秒に一度切り替え，その切り替えの際に 10 ミリ秒だけ，T パズルの正解画像を挿入した．これを 140 秒に渡って続け（閾下ヒント画像の提示は 68 回），終了後に映像の印象評定を行わせた．

手続き　実験群は閾下ヒント画像の挿入された映像を，統制群はそれを含まない映像を 140 秒程度提示し，その後に映像評定を行わせた．次に，両群の被験者に T パズルを解決することを求めた．２分経過後，解決を中断し，組み合わせ評定課題に移行した．12 パターンの刺激について,「どのくらいよいと思うか」を７段階で評定することを被験者に求めた．課題終了後に，T パズル解決を再開した．13 分経過しても解決できない場合には，五角形ピースを固定するというヒントを与えた．

5.3　結果

全実験終了後，実験群の被験者に，閾下ヒント画像を知覚できたかを訊ねたが，そうした被験者は存在しなかった．

実験群と統制群のパフォーマンスの概要を表 5.1 に示す．問題解決課題においては，実験群は自力で解決（15 分以内）できたものが 10 名中 7 名であるのに対して，統制群では 10 名中 4 名にとどまった．有意ではないが，予測する方向の変化が生じた．また解決時間の平均は実験群と統制群で各々，677.8 秒，930.4 秒となった ($t(18) = 1.85, p < .10$)．したがって閾下ヒント情報の呈示により，解決が促進される傾向にあることがわかる．

表 5.1: 結果の概要

	解決時間 (秒)	総セグメント数	自力解決者 (%)
実験群 (n=10)	677.8	80.7	70
統制群 (n=10)	930.4	83.2	40

次に実験群と統制群の制約の逸脱状況を表 5.3 に示す．制約の逸脱に関して，全体でみると対象，関係制約とも差がない．しかしこれは両群ともに，組み合わせ評定課題において同様の刺激を提示したことによるのかもしれない．

表 5.2: 実験群と統制群の制約逸脱

	対象制約 (%)	関係制約 (%)
実験群	38.8	30.8
統制群	31.5	40

閾下呈示情報が効果を持つ部分を特定するために，評価課題前後の制約逸脱の状況を表したのが，表 5.3 である．まず評価課題の前の対象制約逸脱率は，実験群が 45%であるのに対して，統制群では 22%と 2 倍程度の開きがあること明らかになった ($t(18) = 2.01, p < 0.10$)．対象制約逸脱率がはじめの 2 分の間で 40%を超えるという結果は，これまでの様々な実験から見ても極端に高い値となっている．また評価課題実施後にこの逸脱率が減少していることも興味深い．一方，統制群ではあまり顕著とは言えないが，逸脱率は上昇する傾向が見られる．関係制約については両群ともほとんど差がない．また評価課題前後の比較においても，統制群において若干の上昇が見られるだけである．

次に第 2 の可能性である，評価関数の変化についての考察を組み合わせ評定課題の成績を元にして行う．結果は表 5.4 の通りである．表 1 から明

表 5.3: 評価課題前後の制約逸脱率 (%)

	対象制約		関係制約	
	評価前	評価後	評価前	評価後
実験群	45.1	35.8	27.5	30.8
統制群	22.4	26.9	31.2	38.9

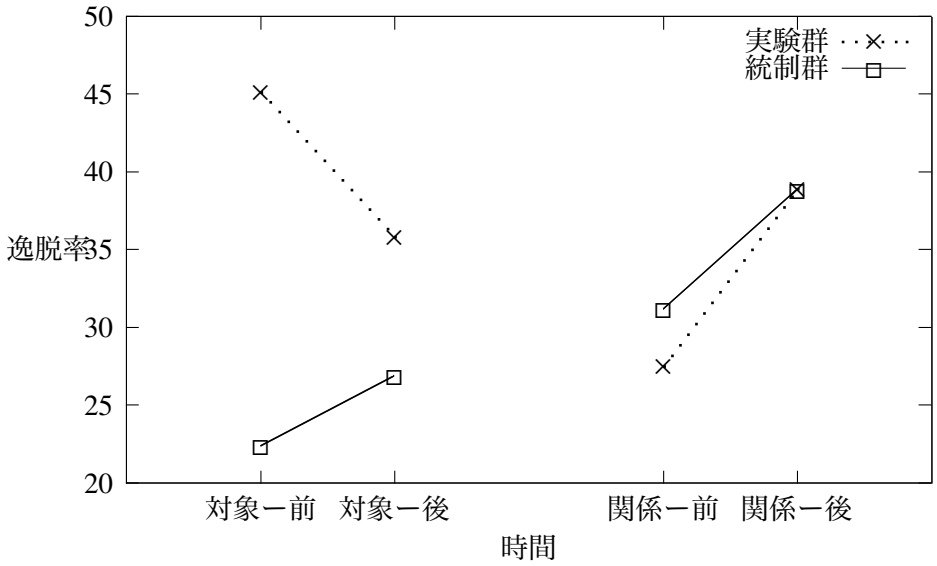


図 5.1: 評価課題前後の制約逸脱率

表 5.4: 組み合わせ課題の評定結果

	両方逸脱	対象逸脱	関係逸脱	逸脱なし
実験群	3.50	3.00	3.33	3.60
統制群	3.63	3.57	3.40	4.03

らかなように，群に関しても，評定刺激のパターンに関しても，また交互作用についても有意な差は認められなかった．

5.4　考察

本研究においても，4 章で見られた，閾下呈示情報の効果が確認できた．すなわち正解図形を意識できないレベルで提示した場合でも，被験者の問題解決は促進される傾向にあることが明らかになった．特に実験群での初期の対象制約逸脱率は極めて高いこと，またこれが問題解決中でさらに緩和されるのではなく，より強固になるという得意なパターンの存在は，閾下呈示情報が働いていたことを強く示していると考えられる．

次に，この効果が洞察問題解決のどのプロセスに関わるものなのかを検討した．具体的には (1) 初期制約の変更の可能性，(2) 評価関数の変化の可能性を検討した．その結果，閾下情報呈示により初期制約，特に対象制約の緩和が進むことが明らかになった．一方，評価課題を用いた実験群と統制群の比較では，全く差が見られないことが明らかになった．

以上の結果は，事前の閾下情報呈示により変化するのは，制約初期値，それも対象制約の初期値ということを強く示している．閾下呈示された情報は，問題解決者の意識的な把握とは別の経路の処理がなされ，直接的に運動系のコントロールに影響を与えていると言える．

こうした結果は，Goodale & Milner (2005) で示されるような，脳内の 2 つの視覚処理経路と関係しているのかもしれない．背側経路は空間的な視覚情報処理を行い，そこから運動機能の実行に対して重要な情報を生み出すとされる．本実験で用いた T パズルのような，情報の空間配置や手の運動を伴う課題においては，この経路の情報が特に重要と考えられる．こうしたことからすると，閾下呈示情報はこの処理を何らかの形で変化させ，それがパフォーマンスの向上につながる可能性があるのではないかと思われる．

一方，評価課題での成績を見ると，閾下呈示情報は腹側経路の情報処理にはさして大きな影響を与えていない可能性がある．もし影響を与えているのであれば，閾下呈示情報と一致する配置への選好が高まるはずであるが，そういう結果は得られなかった．

以上の結果は，閾下呈示情報の選択的作用を意味していると考えられる．ただし，流暢性についての先行研究が示すように，組み合わせ評定課題の教示は，潜在的な処理のプロダクトの評価として適切なものではなかった可能性も存在する．評価課題の教示には「どの程度好きか」という感情的な判断を求める形になっていた．しかし，これが文字通り直観的な選好を促したのかどうかについては検討の余地がある．よって，教示のワーディングを変更するなどの改善を行う必要があるだろう．

なお 4 章の結果同様，閾下呈示情報は関係制約には影響を与えなかった．これはどのように考えるべきなのであろうか．1 つの可能性は，呈示した閾下ヒント情報の特質である．閾下呈示したのは T の正解図形で，その中の五角形が別の色でハイライトされていた．こうしたことからこの図形の，この配置のみが処理され，行為の選択に影響を与えた可能性がある．もう 1 つの可能性は，閾下情報処理では単一の対象しか扱うことが出来ず，複数の対象の間の関係を処理するほど複雑なものではないというものである．いずれの可能性がより妥当なのかは今後の研究の課題となるだろう．

第6章　閾上刺激を用いた洞察研究[1]

6.1　問題

洞察問題解決において問題解決者は自らの認知的傾向性を表す不適切な制約によって，長いインパスの状態に陥る．ここでの経験はひらめきに対してどのような意味を持つのだろうか．制約の動的緩和理論 (鈴木・開, 2003) では，洞察は問題解決を阻害する諸制約がインパス時の試行の評価を通して徐々に緩和されることにより，洞察が得られることを主張した．この主張はいくつかの実験により確認されている．たとえば，試行経験を積むことにより，制約を逸脱した試行の比率が増加し，制約を逸脱したよいパターンに対する評価が高くなる (Suzuki et al., 2001)．またゴール状態を明示することなどを通して試行の評価をしやすいようにすると，解決率が劇的に向上することも確かめられている (2 章を参照)．

本研究は，インパス時の試行経験についてより詳しい分析を行うことを目的とする．制約の動的緩和理論では，様々な度合いの失敗を含む経験を重ねることが洞察にとって重要であると述べている．問題解決者はその時点その時点で強度に基づく制約の選択を行い，その実行結果を観察することにより，制約を変化させることが，この理論の前提となっている．また制約の強度変更については，ゴールとなる図形との視覚的なマッチングの度合いに基づくことが仮定されている．本報告で扱う閾下情報呈示も同じロジックに基づいている．

この仮定の妥当性は，Suzuki et al. (2001) で用いられた評価課題のパフォーマンスがその前に行った問題解決の時間と関連していることから，ある程度までは確かめられている．また閾下呈示を用いた 4，5 章の結果も，これを間接的にサポートしている．しかしこの仮定の直接的な検討はなされていない．そこで本研究では，ヒント図形の閾上の度合いを変化させることにより，実際にパフォーマンスに変化が現れるかを検討する．

また本研究のもう 1 つの検討課題は，失敗や部分的な成功を含む試行が何を修正するのかということである．問題解決者は制約強度にある程度依存して制約を選択するが，その後にプランを組み立てて問題解決にあたっている．つまり，様々な試行は制約強度とプランの２つが組み合わさった

[1]本章は若生彩古との共同研究に基づいている．

ものとなっている．

この場合，試行からの学習は制約強度に直接作用するのか，あるいはプランに作用するのかの２つが考えられる．制約の動的緩和理論は，これらの試行により変化するのは制約強度であることを主張する．つまり，失敗試行によりそれに関わった制約の強度が弱められたり，部分的な成功を含む試行によりそれらが強められたりするのが制約強度更新であるとされている．しかし失敗試行は制約強度を直接変更しているのではなく，問題解決者の立てたプランへの修正を行っているのかもしれない．

これを確かめるために，他者の試行の観察を通しても同様の効果が得られるかを検討する．もし観察のみによっても解決が促進されるのであれば，個別のプランではなく，制約強度が直接変化する可能性を示唆することになるだろう．そうでなければ，自らが立てたプランに対して，その実行結果を元に個別的な評価がなされ，そのプランの実行確率が低下することを意味する．

6.2　方法

被験者：　課題となる T パズルを解いた経験のない大学生 21 名を 80%群（６名），40%群（７名），統制群（８名）にランダムに割り振った．

課題：　Suzuki et al. (2001) で用いた T パズルを利用した．また被験者に呈示する画像は 80%群では，対象制約，関係制約逸脱各 9 枚，双方の制約ともに逸脱 6 枚，逸脱なし 6 枚とした．50%群では対象，関係制約逸脱各 6 枚，双方の制約逸脱 3 枚，制約逸脱なしを 15 枚とした．いずれの画像も T パズル解決で問題となる五角形ピースとその他のピース 1 枚の２枚を組み合わせたものであった．

手続き：　80%，50%群の被験者には，まず T パズルの説明を行った後に 30 枚のスライドを 1 枚につき 5 秒ずつ提示した．この際，これらの画像を見ることは後に行うパズルの解決に役立つことを告げた．画像提示が終了した時点で，パズル解決を行わせた．なお，15 分経過後も解決できない場合には，五角形ピースの凹部分を他のピースで埋めないというヒントを与えた．さらに 20 分経過後も解決できない場合には五角形ピースを正しい向きに固定するというヒントを与えた．なお，パズル解決の過程はビデオテープにより録画した．統制群は画像提示なしに始めからパズル解決を行った．

表 6.1: 結果の概要

	自力解決者 (%)	解決時間 (秒)	セグメント数
80%群 (n=6)	66.7	533.1	46.2
50%群 (n=7)	71.4	820.4	73.9
統制群 (n=8)	12.5	1213.1	84.6

表 6.2: 制約逸脱率 (%)

	対象制約逸脱率	関係制約逸脱率
80%群	33.6	48.0
50%群	32.7	39.1
統制群	30.3	37.7

6.3　結果と考察

表 6.1 に結果の概要を示した．15 分以内に自力でパズルを解決できた被験者は，80%群で 67%(4/6)，50%群で 71%(5/7)，統制群で 12%(1/8) であった．解決時間，試行数の平均もこれを反映して，実験群のパフォーマンスが大幅に優れている ($\chi^2(4) = 7.92, p < .02$)．80%群と 50%群の間には解決者数では大きな違いは存在しないが，解決時間，セグメント数では 80%群が優れたパフォーマンスを示している．

ただし，その影響は決して直接的なものではない．たとえば 80%群の対象制約の緩和率は刺激画像を見た直後の第一フェーズでは統制群と同じ程度であるが，第２フェーズから徐々に高くなり，第４フェーズで飛躍的に増加している．また，50%群では対象制約逸脱は統制群とほぼ変わらない．関係制約の逸脱については，試行を重ねるにつれて減少する傾向が見られる．この結果は，実験群の被験者が事前に見せられたサンプル図形をそのまま当てはめて問題を解いたわけではないことを示している．

以上の結果は，行為を伴わない経験＝観察であっても，洞察における制約緩和が促され，解決を促進するということを示している．ただし，この結果から観察が対象のとらえ方自体に影響を与えたと結論づけることは出来ない．なぜならば，もしその可能性が正しいとすれば，解決初期から逸脱率が上昇するはずであるが，そうしたデータは得られていない．また実験群の被験者は刺激画像を提示された際に，解決のメンタルシミュレーションを行っていた可能性も存在する．こうした問題点を克服するための実験が今後必要となる．

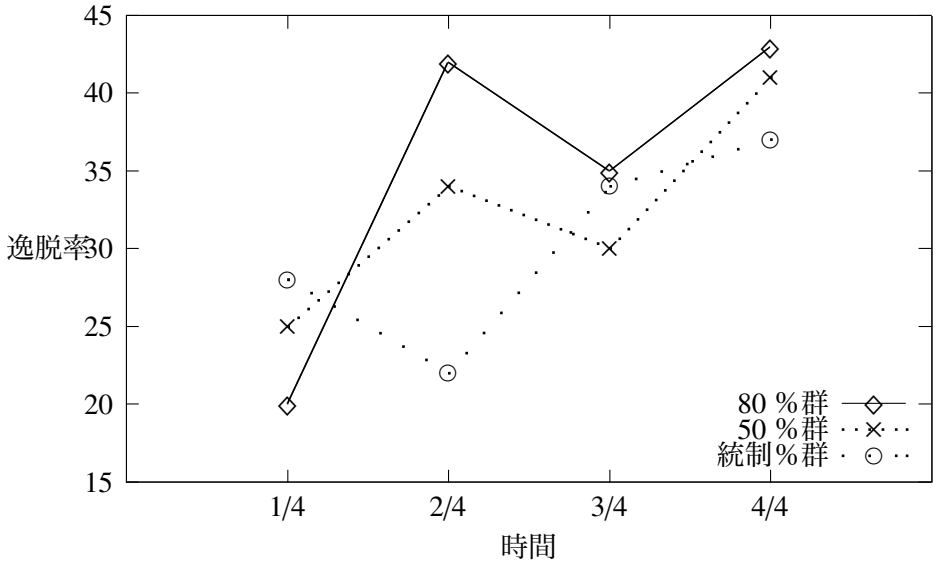


図 6.1: 対象制約逸脱の時間変化

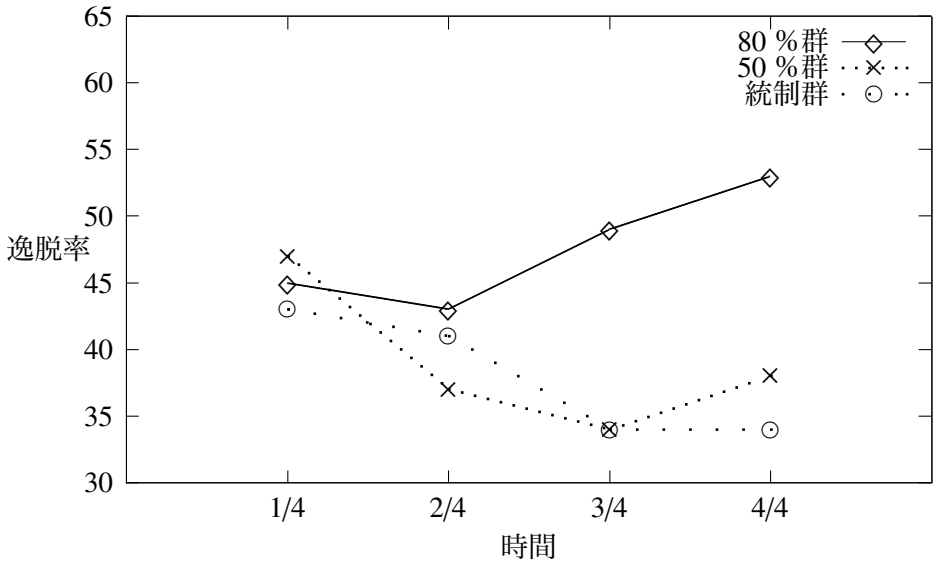


図 6.2: 関係制約逸脱の時間変化

第7章　問題解決中の閾下刺激呈示[1]

7.1　本研究の目的

4,5 章で見られた閾下呈示情報は，予測する方向に問題解決者のパフォーマンスを変化させていた．しかしながら，その効果は非常に強いとは言い難く，ある指標では統計的に有意であるが，別の指標では有意とはならなかった．

この理由の 1 つとして考えられるのは，この効果の及ぶのが対象制約に対してであり，関係制約ではないということである．閾下刺激呈示により対象制約の逸脱が生じる．しかしこの逸脱率は徐々に低下していく．一方，関係制約はあまり影響を受けず，試行を重ねるに従って徐々に逸脱率が増加していく．このミスマッチが，問題解決者の洞察を妨げている可能性がある．

したがって，対象制約の逸脱率が低下しないような実験的操作を導入すれば，自力解決者の比率はより高まる可能性がある．これを実現する 1 つの方法として，閾下情報を問題解決中に呈示し続けることが考えられる．

これを実現するために図 7.1 のような実験状況を設定した．被験者の前にスクリーン（図中の左の小さな白いボード）を設置し，被験者その下から手を入れてパズルを操作する．白いボードが存在するために，自分の手やピースを直接見ることは出来ない．この状態で，テーブルの上に置かれたピースと手を写すようにビデオカメラを設置し，被験者の前方のスクリーンに画像を投影する．これによって被験者は自分の操作をスクリーン

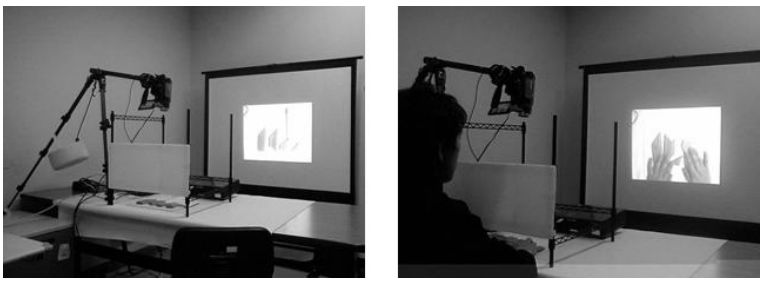


図 7.1: 実験状況

[1]本章は松本光との共同研究に基づいている．

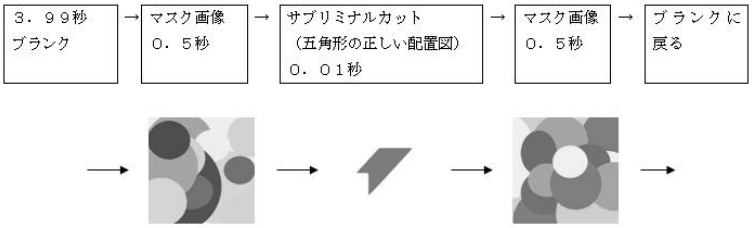


図 7.2: 閾下ヒント情報の呈示の仕方

上で確認することができる．閾下呈示情報は被験者の後方に置かれた別のプロジェクタから，前方のスクリーンに投射する．このように実験状況を設定することで，問題解決中の任意の時間に閾下情報を呈示することが可能になる．

本実験では，もう 1 つの変更を加えた．それは閾下呈示情報を正しく置かれた五角形のみにする，というものである．前述したように，関係制約は閾下呈示情報によって影響を受けず，徐々にその緩和の度合いを高めていた．一方，対象制約の逸脱は閾下呈示情報の受容直後には高いが，徐々に逸脱率が下がっていった．もし，対象制約の緩和率の低下を阻むことが目的であるのならば，閾下で呈示すべきことは対象制約に関わることだけでよいはずである．よって今回の実験の閾下呈示情報は，T の正解図形全体ではなく，五角形のみとした．

7.2　方法

被験者　青山学院大学生 20 人を実験群 10 人，統制群 10 人にランダムに割り当てた．うちパズルを解いた経験があり，9 秒で解決に至った統制群の被験者は分析から除外した．

実験装置　実験は図 7.1 に示したような装置を用いた．また閾下情報は岩通アイセル社の IS-701 を用いて，この画像をプロジェクタを通してスクリーンに投射した．刺激は図 7.2 で示したように，3.99 秒のブランク画像の後に 0.5 秒のマスク画像を呈示した．それに続いて五角形の正しい配置を 0.01 秒示し，その後また 0.5 秒のマスク画像を入れた．しがたって問題解決中の 5 秒に 1 回ヒント情報が閾下呈示されることになる．なおマスク画像を入れた理由は，実験状況との関係でマスクなしでサブリミナルカットを入れると見えてしまう場合があったからである．

手続き　図 7.1 のように，ビデオで撮った手元の画像をプロジェクターでスクリーンに映した．被験者には，金属フレームの下から手を入れて，手

元を直接見るのではなくスクリーンに映った手元の映像を見ながら解いてもらった．フレームには目隠しのために板がつけられており手元が見えないようになっている．また，被験者のすぐ右手側に完成図形と同じ大きさの T が印刷された型紙を貼り，解決中に参照できるようにした．ただし，型紙の上で作業することは認めなかった．

また手元にボードを置きその上でパズルを解くように指示した．そしてこのボードとほぼ同じ大きさになるように，別のプロジェクターを使ってヒント情報の閾下呈示を行った．これにより，解決中にサブリミナル映像が必ず目に入るようになると考えられる．なお統制群は，問題解決中 5 秒に 1 回の割合でマスク画像が呈示された．

20 分経っても解けない被験者に対しては「五角形ピースのへこみの部分にはピースをつけないでください.」と関係制約逸脱のヒントを与え，25 分経っても解けなければ「五角形ピースはこう置いてください」と五角形ピースのみ正しい置き方を示した．30 分経っても解けない被験者には T の型紙の上で作業をすることを認めた．

7.3　結果

表 7.1 に全般的な結果を示す．ここからわかるように，閾下ヒント情報のオンライン呈示は被験者の問題解決を促進することはなかった．解決時間，セグメント数，自力解決者の割合，いずれをとっても，統制群との違いはない．

表 7.1: 結果の概要

	解決時間 (秒)	総セグメント数	自力解決者 (%)
実験群 (n=10)	1365.8	58.9	30
統制群 (n=9)	1140.8	63.2	33.3

次に実験群と統制群の制約の逸脱状況を表 7.2 に示す．これについてもみると対象，関係制約とも差がない．さらに対象制約についてはこれまでの研究とは逆方向の結果すら得られた．

表 7.2: 実験群と統制群の制約逸脱

	対象制約 (%)	関係制約 (%)
実験群	12.1	25.5
統制群	16.5	24.7

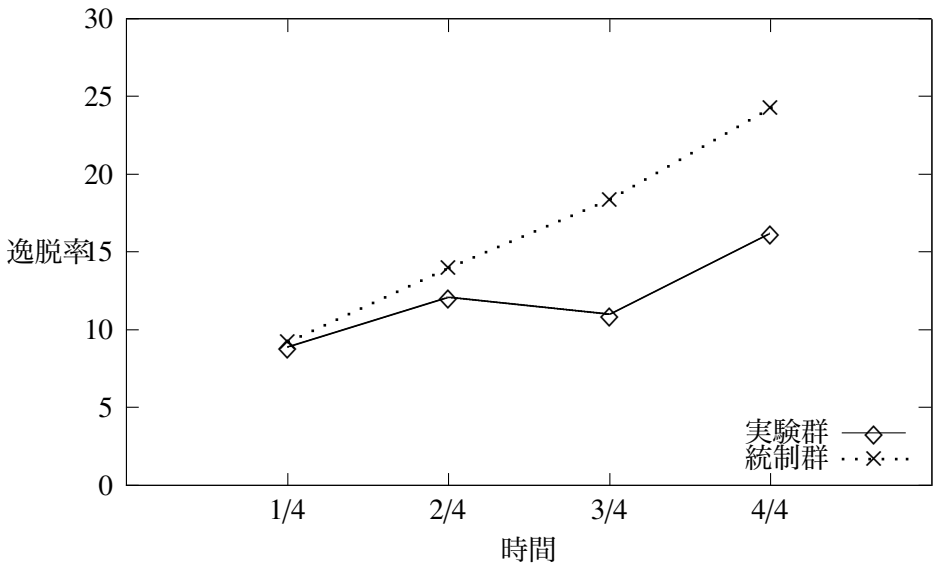


図 7.3: 対象制約逸脱率の時間的変化

ただし，これはパフォーマンス全体の傾向であり，問題解決の時期により異なった傾向が見られる可能性もある．そこでこれまでの実験同様問題解決をセグメントの数により 4 分割し，それぞれの時期における逸脱率を求めた (図 7.3, 7.4)．ここでも実験群と統制群の間に基本的に差は見られない．対象制約の後半の逸脱率は統制群の方がやや強く出ていさえする．

以上の結果は，ヒント情報を閾下呈示しながら問題を解かせることで，制約逸脱のタイミングが揃い，解決がより促進されるという仮説を支持するものではなかった．

しかしこの結果は，閾下ヒント情報の呈示に解決促進効果がないことを必ずしも意味するわけではない．4 章や 5 章の実験結果からすると，ヒント情報が知覚されていたならば対象制約の緩和や解決時間の短縮などが多少なりとも見られるはずである．よって，この実験においてはサブリミナルカットが知覚されていなかった可能性が高いと思われる．

閾下呈示されたヒント情報が知覚されなかった理由として，一つにその大きさと提示位置の問題が考えられる．前節のサブリミナル映像に挿入されている五角形の正しい配置図は人の視野に納まる大きさに作ってあった．具体的には，人が対象を正確に注視できる視野の範囲が 4° であり，スクリーンから被験者の目まで約 1.7 m であったため，注視時の視野に収まるのは直径約 11.8 cm の円内ということになる．これを踏まえヒント情報の大きさもこの範囲に収まる大きさにした．しかしパズルを解く領域,

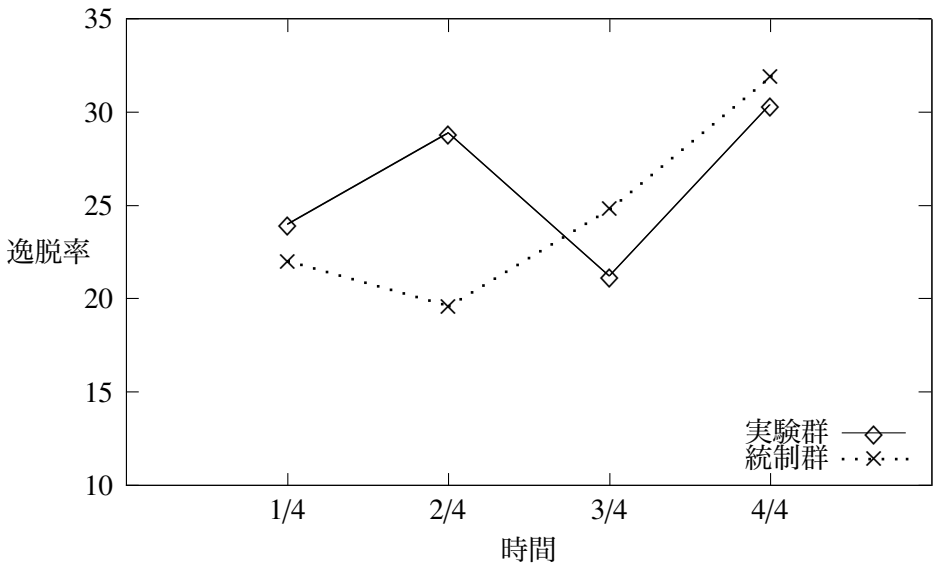


図 7.4: 関係制約逸脱率の時間的変化

つまり，ボードの上はこの閾下ヒント情報の大きさの 6 倍程度あり，いくらボードの中央に提示しても中央から少しずれた位置でパズルを解けばヒント情報は視野に入らないという状況が発生してしまう．だとすると，パズルを解く過程で手元が動いて，閾下ヒント情報が提示される場所とずれてしまったため知覚されなかったという原因が考えられる．よって今後，閾下の知覚が視野のどの位置においてもっともよく行われるのかの検討が必要になるだろう．

もう 1 つの問題は，閾下ヒント情報が 4 章で用いたものとは異なっていることである．本章では五角形のみが用いられていたが，4 章では T の全体像の中で五角形がハイライトされるものが用いられた．直観的には本章のように五角形のみを呈示した方がより効果的であるように思える．なぜならば全体の形は最後の試行においてのみ現れるものであること，また T の全体像は複雑な組み合わせ図形であり，そこから有益な情報を得ることはより難しいと考えられること，この 2 つの理由による．

さらに実験状況の問題もある．被験者は自らの行為を直接見ることが出来ず，スクリーンに投影されたものを見ていた．そしてそのスクリーンにおいて，一定間隔でマスク画像に挟まれたヒント画像を見ることになった．ここでヒント画像は問題解決過程を遮る形で呈示されたことになる．つまり被験者にとってはヒント画像は行為の知覚を妨害するものと捉えられる可能性がある．つまりヒント画像は Veling et al. (2007) が行った実験

のディストラクタのようなものとして受け取られる可能性がある．もしそうだとすると，ヒント画像は知覚的流暢性を阻害するものとして，それに対する評価は低下する危険性が存在する．

第8章　技能の熟達過程における潜在レベルの変化[1]

本章では，単純なスキルの学習過程をきわめて長期にわたって観察したときに見られる，スランプとその脱出についての検討を行う．ここでのポイントは，スキルの学習過程が，意識的な過程によってコントロールされているわけではなく，学習者が無自覚に行う非標準的な行為，環境からの圧力などからの創発に基づいていることを示すことである．

洞察や閾下知覚とは異なるが，意識的な過程と無意識的な過程の相互作用の見事な統合がここに見られる．

8.1　はじめに

スキルは練習によって，ある時には劇的に，またあるときには徐々に向上する．こうした事実は，練習のベキ法則と呼ばれるものによってうまく記述できるとされてきた (Newell & Rosenbloom, 1981)．一方，スキルの熟達過程においては，スランプに代表される，練習のベキ法則の予測とは合致しない現象の存在も指摘されている (木村, 1998).

この問題を検討する際に，近年の人間の発達に関する研究は重要な視点を提供してくれる．これらの研究は，ゆらぎとそれがもたらす多様性が認知システムの変化において果たす重要な役割を指摘している (Granott & Parziale, 2002; 鈴木, 2006)．学習過程のある時点において，学習者たちは現在のパフォーマンスを生み出すスキル[2] だけをもっぱら用いるわけではない．それよりも進んだレベルのスキルも持っており，これらをある程度の割合で用いている．これのもたらすゆらぎが，学習者を次の段階に引き上げる原動力となる．

しかしながら，より進んだスキルの実行には，実行のための環境の再設定が必要となる．ここで環境とは，外部的，物理的な環境だけでなく，その前後の行為との調整も含む．一般に新しいスキルの導入と環境の設定には時間的なズレがある場合が多く，ここに生じるミスマッチがスランプをもたらす可能性がある．

[1]本章は大西仁，竹葉千恵との共同研究である．

[2]正確にはスキルを構成するコンポーネントである．これについては 8.5 で詳述する．

こうしたことからすれば，スキル学習の過程においては練習のベキ法則の予測から外れるスランプは半ば必然となる．よって，本章の目的は，

1. スキルの熟達はスランプを含んでおり，練習のベキ法則の予測のように単調に進行するものではないこと，
2. スランプなどのベキ法則からの逸脱が，スキルとその実行環境とのミスマッチにより生じること，

これら 2 つを明らかにすることとなる．取り上げるのは，環境の役割が相対的に大きい，運動スキルである．

本章では，課題のパフォーマンス (成績や遂行時間) がそれまでの最高値を示した後，その記録が更新されるまでに，多数の試行を要する停滞状態およびその期間を「スランプ」と呼ぶ．スランプは，パフォーマンスの横ばいが長く続く「プラトー (plateau)」，パフォーマンスがそれまでの水準より低下する「後退」，低下したパフォーマンスが回復し記録を更新するまでの「脱出」を含む．

以下では，まず 8.2 で学習曲線についての標準的な見解である，練習のベキ法則を紹介する．次に 8.3 において，長期にわたる学習過程では，練習のベキ法則の予測とは異なり，課題の遂行時間が長い期間減少しないプラトーや一時的にパフォーマンスが低下した後に回復する U 字型の変化などの逸脱が，先行研究において観察されていることを述べる．8.4 では，比較的長期にわたる単純なスキルの学習過程のデータに対して，状態空間法を用いた分析を行い，これらの逸脱が客観的に捉えられることを述べる．この分析結果を受けて，8.5 では，顕著な逸脱を示す部分を取り上げ，これらが環境の設定，再構築という観点から説明可能であることを述べる．8.6 では，分析の結果をまとめるとともに，今後の課題を明らかにする．8.7 では，まとめと今後の展望について述べる．

8.2　練習のベキ法則

スキルは練習により獲得された運動的，認知的な能力を指す．一般にスキルは練習によって上達するが，その向上の程度は一定ではない．練習の初期には急激に上達するが，徐々にその上達のスピードは落ちてくる．スキルには，課題遂行の正確さ，課題遂行の時間，プロダクトの良さなど様々な指標があるが，この中で課題の遂行時間に注目して，こうした日常的な直観をうまく近似するのが，練習のベキ法則 (the power law of practice) である．この法則は P 回の練習を重ねたときの課題の遂行時間 T を

$$T = NP^c$$

と表現する．なお，N は課題の難易度を表すパラメータ，c は学習率を表す ($-1 < c < 0$)．したがって，練習の回数，遂行時間の各々を対数軸で表すと，右下がりの直線が得られる．

このようなパターンは，葉巻工場の職人の熟達，単純な足し算の学習 (Crossman, 1959)，キー操作 (Seibel, 1963)，カウンティング (Lassaline & Logan, 1993)，語彙判断課題 (Logan, 1990)，文章の読解時間 (Kolers, 1976)，パズルの解決 (Ruger, 1910)，幾何の証明の正当化 (Neves & Anderson, 1981) など，さまざまな課題の学習において観察されている（なおこれらの中の古い文献については Anderson (1981); Norman (1982) を参考にした.）.

Newell と Rosenbloom は Soar のチャンキングメカニズムによって練習のベキ法則が説明可能であることを示している (Newell & Rosenbloom, 1981). Logan のインスタンス理論も，これと同様の形でベキ法則についての説明を行っている (Logan, 1988)．また，Anderson は ACT-R 理論を用いて練習のベキ法則に対して計算論的な説明を与えている (Anderson, 1993).

学習曲線がベキ乗ではなく，

$$T = X + Ne^{Pc}$$

で表される，累乗の法則に従っているという考え方も提案されている．たとえば Heathcote, Brown, & Mewhort (2000) は平均などで集約されていないデータを扱う場合にはベキ乗法則よりも累乗法則の方が当てはまりがよいと主張している．

いずれのモデルも最初は遂行時間の短縮幅が大きく，試行を重ねるとともに短縮幅が減少する滑らかな単調減少関数である．これに加えて，多くの学習理論がベキ法則の説明を重要視してきたという経緯から (Speelman & Kirsner, 2005)，以下では主にベキ法則を取り上げ，検討を重ねることにする．

8.3　スキル学習におけるスランプ

練習のベキ法則は，一定以上長い期間の学習を重ねた場合の遂行時間の変化についての常識や実証研究から得られたデータと適合的である．しかしながら，この法則とは合致しない現象は日常経験の中に数多く存在する．代表的なものがいわゆるスランプである．繰り返し練習を重ねているにもかかわらず，成績が向上しない，あるいは低下することは珍しいことではない．

Bryan & Harter (1899) は，モールス信号の送受信の学習過程において，パフォーマンスが全く改善されない時期 (プラトー) があること，しかしその後さらに練習を続けることにより当初の記録が更新されることを示した．しかし，その後に行われた研究ではプラトーは再現されないという報告もなされている (Adams, 1987; Keller, 1958).

プラトーのような現象はベキ法則の立場からすれば，学習が進むにつれ，短縮幅，向上の度合いがきわめて小さくなるために生じる人間の錯覚に過ぎないものとされるだろう．また一時的なパフォーマンスの劣化は，比較的長く続く誤差的な変動に過ぎないと考えられるかもしれない．

一方，8.1 で述べたように，学習や発達においては，揺らぎがきわめて重要な役割を果たすことが示されている (鈴木, 2006)．こうしたことからすれば，プラトーは錯覚や誤差変動に還元できるものではなく，学習において普遍的に観察されるものであること，またそれは学習に単に付随するものでもなく，次の段階への飛躍にとって重要な意味を持つこと，が予測される．

これについて木村は一連の研究を通して，重要な知見を得ている．これらの研究では折り紙を数万回から 10 万回に渡って折り続けた時の完成時間の変化が扱われている．この時間変化をプロットすると，ベキ直線の上下に長い波長の波がうねるようなパターンが繰り返し現れることが明らかになった (木村, 1998)．木村 (2000) では，こうした傾向をより客観的に分析するために，連の数 (run: データがベキ直線の上，または下に連続して並んだ数) を用いた分析が行われた．その結果，１つ１つの連の区間が長いために，連の数が理論値よりも極端に少なくなることが見いだされた．これらの結果は，記録が停滞する期間 (=スランプ) がかなり長いこと，またこうしたスランプが頻繁に観察されることを意味している．また，こうした変動は練習の曜日，季節などの循環成分には還元しきれないことも明らかにされた (木村, 2002)．さらに，学習の飛躍的な進歩の前には長いスランプがあること，また進歩の後にもぶり返しが現れるという指摘 (木村, 2003) は，ベキ法則からの逸脱がたまたま生じるものではなく，本質的な重要性を持つことを示唆している．

木村の研究は，スランプなどの揺らぎの存在を明らかにすることにより，ベキ法則による記述に対して，根本的な再考を迫っている．こうしたことからすれば，この分野の研究の次なる課題は，揺らぎを陽に取り込んだ客観的な記述モデルを構築することとなる．

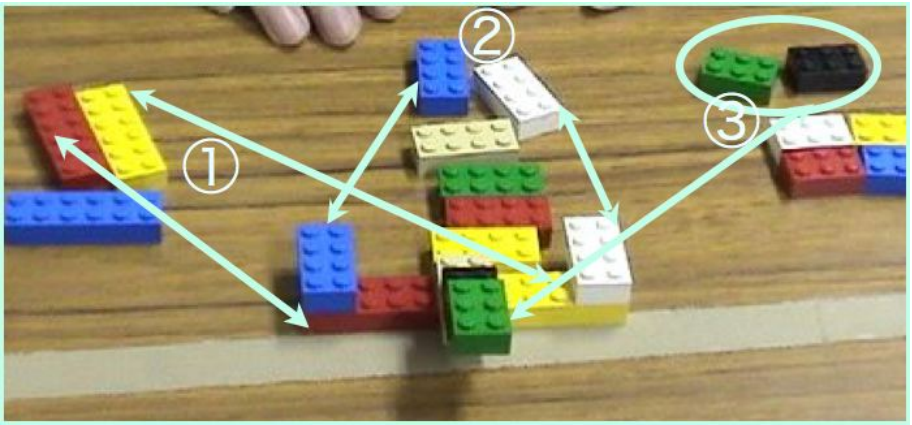


図 8.1: モデル図形と被験者の作成のパターン．被験者の作成する図形は図の前に示されている飛行機状のものである．番号付きの矢印は被験者の組み立ての順番を示す．

8.4　単純な組み立て課題におけるスランプ

本章ではレゴブロックを用いた簡単な組み立て課題を繰り返し行った際の学習データが，練習のベキ法則からは予測できない，系統的な変動を含むことを示す．まず実験の手続きと結果の概要についての記述統計を示す．次に状態空間法を用いて，スランプなどの揺らぎを陽に取り込んだ記述モデルを提案し，その妥当性を検討する．

8.4.1　実験の概要

大学生（女子）1 名が被験者として参加した．課題は，色や大きさが異なる 7 つのレゴブロックからなる飛行機状の形をしたモデル（8.1 参照）を提示し，これと同じものをできるだけ早く作ることであった．被験者が真剣に課題を行なうように，その日の最高記録がそれまでの最高記録を 10%以上短縮した場合には，追加の謝礼金を支払うことを 1 日目の終了時点で告げた．

モデル図形，長いブロック 3 個，中くらいのブロック 6 個，短いブロック 6 個が並べられた机にすわり，開始の合図とともに構成を始め，作り終えた後はこれを分解し，適当な位置に戻すように指示した．なお戻す位置は被験者に任せた．15 回を 1 セッションとし，セッション終了後に 1 分間の休憩を挿入した．このような形でセッションを続け，おおよそ 1 時間になったところで，その日の練習を終了した．なお作業のすべての過程をビデオテープにより録画し，後の分析で利用した．

12 日間で 155 セッション，計 2325 回の試行が行われた．この過程で遂行時間は著しい減少を示した．最大で 38.6 秒（初日の初回）であった遂行時間は最終日には 2.83 秒まで短縮した．1 セッションごとの最小値を見ると，初回セッションでは 12.59 秒であったのが，最終日には 2.83 秒となった．また，遂行時間の減少に伴い，1 日における試行数も初日の 135 回が最終日には 210 回となった．なお組み立ての順序は 8.1 に示したとおりであり，この順序を逸脱した試行は存在しなかった．

ベキ法則を用いると，この遂行時間 y_n の変化と練習回数 n の関係は次のように近似できることが分かった．

$$y_n = 28.08n^{-0.269} \tag{8.1}$$

8.2 に遂行時間の変化の実データとベキ法則による推定値を示した（なおこの図にはトレンドの推定値も含まれているが，これについては 8.4.2 で詳述する）．ここからわかるように，ベキ直線は実データのほぼ中央部を貫いており，よい近似となっていることがわかる．

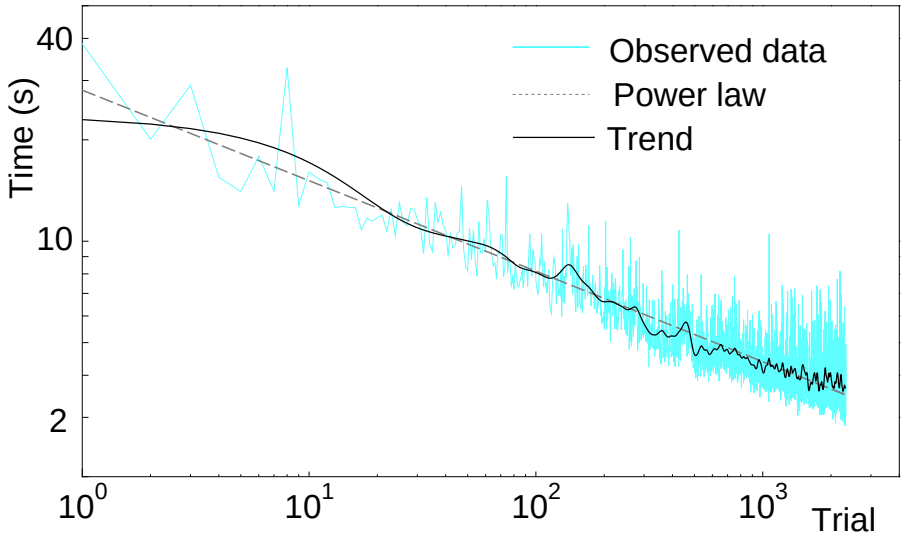


図 8.2: 遂行時間，ベキ法則による推定，および推定されたトレンド．

しかし，さらに詳細な分析を加えると，ベキ法則からの無視できない逸脱も存在することがわかった．練習のベキ法則による推定値よりも 5 試行以上連続して上，あるいは下にデータが並んだケースは 97 回存在した（平均 6.92 試行，最大 15 試行）．こうした連続した逸脱試行の総和を求めると 671 試行となり，全体の試行数 2325 の約 30% 程度を占めている．また時期によってもこの割合は大きく変動し，1800 回目以降は約 10%程度であるが，300-600 試行においては 60%以上となっている (8.3 参照)．

また，木村の分析に倣い，それまでの遂行時間の最小値がどの程度の期間持続するのかを分析した．50 試行以上に渡って最小値が破られないケースは全体で 12 例観察された．最小は 58 試行であり，最大は 606 試行で，その平均は 164.2 であった．最大の場合で 40 セッション以上，すなわち 3 日以上も前回の最小値が更新されなかったことを意味している．

これらの分析から，遂行時間の変化はベキ法則が仮定するような練習による単調減少ではないこと，また学習過程には，スランプが数多く存在していることがわかる．ベキ法則の推定を逸脱した試行が無視できないほど存在することは，これらが何らかの規則性を持っていることを示唆する．

8.4.2　状態空間法による分析

前節の分析で，ベキ法則からの逸脱はランダムな誤差に還元できるものではなく，系統的な変動を含むことが示された．そこで，遂行時間の系統的な変動の様子を具体的に捉えるために，遂行時間の比較的長期的で支配的な動きであるトレンドを抽出する．

トレンドを推定する方法として，多項式モデルやベキ法則モデルを含む一般化線形モデルを当てはめる方法が最初に挙げられる．これらの方法はモデルのクラスがデータの真の構造を十分に近似できているときには有効である．しかし，これらのモデルを長い時系列データに当てはめる場合，複雑に変化するトレンドを捉えることが難しく，次数を上げて複雑な変化を捉えようとするとデータを追従しすぎて，偶然の変動を拾ってしまいがちである．別の方法として，移動平均を用いる方法が挙げられる．移動平均は特定のモデルを仮定せず，簡単な計算でデータを平滑化してトレンドを推定することができ，トレンドの複雑な変化にもある程度対応できる．しかし，この方法では，移動平均をとる期間の選択により推定されるトレンドが大きく変化することがあるため，分析の妥当性に弱点がある．そのため，今回の実験データのように，試行数が多く，複雑な変化を含んでいる可能性が高い時系列データを分析するには，より柔軟な手法が必要である．そこで，状態空間法 (北川, 2005) を用いてトレンドを推定する．この方法を用いれば，プラトーのようなベキ法則からの比較的長期に渡る逸脱をトレンドとして柔軟に推定することができる．実際，状態空間法は株価や GDP 変動などの経済事象や潮汐の変動などの自然現象の時系列解析に広く用いられている (赤池・北川, 1994, 1995).

第 n 試行の遂行時間 y_n は 8.2 式に示すように，トレンドと t_n と残差 w_n として表されると仮定する．

$$y_n = t_n + w_n \tag{8.2}$$

ここで，w_n は平均 0，分散 σ^2 の正規分布に従うとする．トレンド t_n は長期的な変動であることから，滑らかに変動すると仮定し，8.3 式を満たすとする．

$$t_n = 2t_{n-1} - t_{n-2} + v_n \tag{8.3}$$

ここで，v_n は平均 0，分散 τ^2 の正規分布に従うとする．8.3 式は v_n を無視すると，t_n の変化の割合が一定であること，すなわち t_n が直線になることを意味する．それではトレンドの制約として強過ぎるので，v_n を導入してより柔軟な変動を許す制約となっている．ただし，v_n はペナルティとして働くために，高周波の振動など急激な変化の割合の変化を抑制し，滑らかな変動を抽出することを可能にする．この滑らかさの仮定は，多項式モデルやベキ法則モデルを含む一般化線形モデルよりも柔軟なので，複雑なトレンドの推定を可能にする．

これらの方程式は状態空間モデルとして，8.4, 8.5 式のように表される．

$$x_n = Fx_{n-1} + Gv_n \tag{8.4}$$

$$y_n = Hx_n + w_n \tag{8.5}$$

ここで，

$$x_n = \begin{bmatrix} t_n & t_{n-1} \end{bmatrix}^t,$$

$$F = \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$Q_n = \tau^2, R_n = \sigma^2$$

である．

状態 x_n はパラメタ σ^2, τ^2 が決まれば，カルマンフィルタと平滑化のアルゴリズムで求めることができる．カルマンフィルタは直接観測できない状態 x_n の推定を，8.4 式に基づくシステムのダイナミクスからの予測，観測値 y_n を用いた予測値の修正 (フィルタリング) の 2 段階で行う．予測とフィルタリングの具体的な計算は，各々8.6, 8.7 式にしたがって行われる．

$$\begin{aligned} x_{n|n-1} &= Fx_{n-1|n-1} \\ V_{n|n-1} &= FV_{n-1|n-1}F^t + GQ_nG^t. \end{aligned} \tag{8.6}$$

$$\begin{aligned} K_n &= V_{n|n-1}H_n^t(H_nV_{n|n-1}H_n^t + R_n)^{-1} \\ x_{n|n} &= x_{n|n-1} + K_n(y_n - HFx_{n|n-1}) \\ V_{n|n} &= (I - K_nH_n)FV_{n|n-1}. \end{aligned} \tag{8.7}$$

カルマンフィルタの計算結果を用いて，平滑化された状態 x_n は次のように計算される．

$$\begin{aligned} A_n &= V_{n|n} F^t_{n+1} V^{-1}_{n+1|n} \\ x_n &= x_{n|N} = x_{n|n} + A_n(x_{n+1|N} - x_{n+1|n}) \\ V_n &= V_{n|N} = V_{n|n} + A_n(V_{n+1|N} - V_{n+1|n})A^t_n \end{aligned} \tag{8.8}$$

ここで，N は全試行数を表す

パラメタ σ^2, τ^2 は最尤法により求められる．対数尤度 $\ell(\sigma^2, \tau^2)$ は次式のようになる．

$$\begin{aligned} \ell(\sigma^2, \tau^2) = &-\frac{1}{2}\{ N \log 2\pi + \sum_{n=1}^{N} \log r_n \\ &+ \sum_{n=1}^{N} \frac{(y_n - H_n x_{n|n-1})^2}{2r_n} \} \end{aligned} \tag{8.9}$$

ここで $r_n = H_n V_{n|n-1} H^t_n + R_n$ である．対数尤度を最大にする σ^2, τ^2 を採用することで，トレンドの推定値が得られる．

推定されたトレンド成分を 8.2 内に示す．もし，ベキ法則の直線周りの揺らぎがランダムな誤差であるならば，トレンドはベキ法則の推定値と一致する．しかし，推定されたトレンドはベキ直線の周りを揺らいでいる．

8.3 に，長期のプラトー・後退・そこからの脱出が見られた，第 300-600 試行の遂行時間の推移を示す．被験者は第 314 試行でこれまでの最小値を記録しているが，この後記録は伸びず第 494 試行まで破られなかった．推定されたトレンドはこの間のプラトーの特徴をうまく捉えている．一方，偶然のばらつきはトレンドにほとんど影響を与えていないので，トレンドは学習過程のマクロな動きをうまく捉えていることがわかる．これらの分析から，学習のプロセスは長期のプラトー・後退やそこからの脱出を含み，これらはベキ法則のランダムな誤差ではなく系統的なものであることが，統計学的にも示された．

8.5　スランプの発生過程の微視的分析

8.4 で述べてきたように，スランプは単なる誤差と見なすことはできない．本章では，こうした練習のベキ法則からの逸脱を，スキルとその実行環境との関わりで分析する．まずこの分析の理論的前提について述べ，次に，前節までで取り上げてきた 300 試行から 500 試行に見られたスランプについての分析を行う．最後に，遂行が U 字型のパターンを示したケースについて論じる．

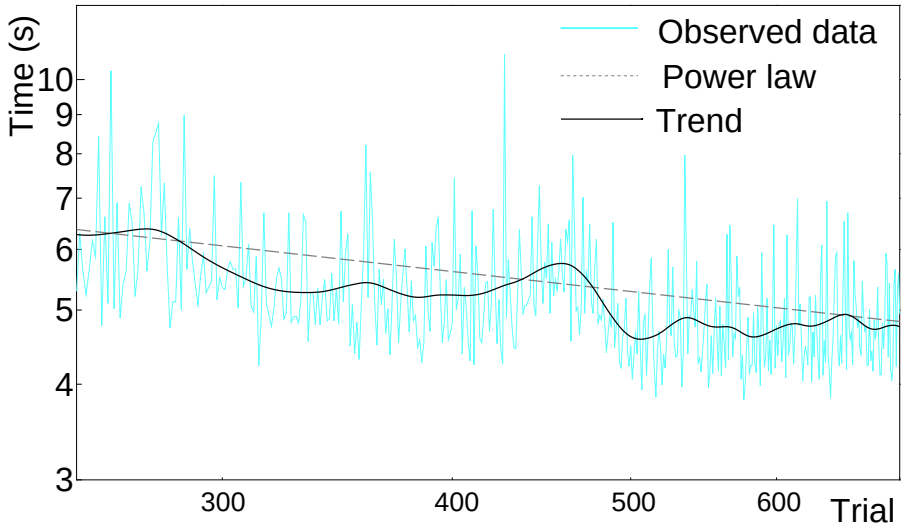


図 8.3: 300 から 600 試行における遂行時間，そのベキ法則による推定，および推定されたトレンド．

8.5.1　スキルのコンポーネントとその実行環境

8.4 では，ブロック組み立て作業の完成までの時間を指標とした分析を行ってきた．この分析では被験者の行うさまざまな行為が遂行時間という単一の指標に集約されてしまい，組み立て作業全体が 1 つのスキルであるかのように扱われてきた．こうした傾向は，今まで取り上げてきたような遂行時間をベースにした分析においては一般的である．

しかしながら，本章で取り上げた組み立て作業を含めて，一般的にスキルは多くのコンポーネントからなっている．Speelman & Kirsner (2005) は，階層的に結びついた複数のコンポーネントが存在すること，そして各々のコンポーネントが異なった時期に，あるいは異なったスピードで熟達，洗練されることが，スランプを生み出す原因であると指摘している．よく習熟したコンポーネントと比較的新しく用いたコンポーネントが混在する場合，この 2 つの学習率 (c) が等しくても，全体としての学習率は低下する．この低下の度合いは，古いコンポーネントが全体の達成時間に占める割合が高ければ高いほど顕著になることを Speelman と Kirsner は指摘してる．すなわち，新しいコンポーネントが導入されたときには全体の学習率が低下し，それが達成時間におけるスランプになるというわけである．

Speelman と Kirsner の指摘には逆 U 字型の変化や完全なプラトーを説明できないという問題点も存在する．しかし，多様な習熟度のコンポーネントが関与するものとしてスキルを理解すべきだという点，およびプラトーの存在を認め，それが新しいコンポーネントの導入に関連していると

いう点は重要である．

新しいコンポーネントの導入は，それと機能的に等価な役割を果たしていた以前のコンポーネントの単純な置き換えだけではすまない．以前のコンポーネントは特定の実行環境の中で動作していたわけであり，新しいコンポーネントがそれと全く同じ環境の中で動くとは限らないからである．つまり，新しいコンポーネントにはそれに適した実行環境が必要になる (諏訪, 2005).

スキルの熟達におけるスランプと環境の関係を考えるときにヒントとなるのは，乳児の歩行スキルの発達研究である．生後間もない子供の体を支え，立たせた状態にすると，あたかも歩行の時のように足を交互に動かす．これは歩行反射と呼ばれている．しかしこの反射は 4 週から 8 週のうちに激減し，通常の環境ではほとんど観察されなくなってしまう．ところが，それはまた 8ヶ月あたりから復活し，実際の歩行へとつながっていく．

歩行の存在→消滅→復活といった不思議な発達の道筋は，筋肉と脂肪とのバランスが変化するためであることが知られている (Thelen & Smith, 1994)．生後まもなく乳児の体重が減少するが，その後脂肪がつくことで急速に増加する．しかし重くなった足を動かすのに十分なほどには筋肉が発達しないために，歩行反射が行われなくなるのである．したがって，足の重さを軽くするようなこと，たとえばバスタブに水をはり，そこに子供を支えながら立たせれば，消えてしまったはずの歩行反射がまた現れる．またベルトコンベアーのようなものに乳児を乗せると，やはり歩行反射が現れる．これはバネのような特性を持つ足が，ベルトコンベアーの動きにより伸びきってしまい，その結果復元力が働き，足が元に戻るためであるとされる．

これらの結果はスキルが，変化しつつある身体，あるいは内部機構と環境との間のバランスの上に成り立っていることを示している．したがって，身体あるいは内部機構の発達はパフォーマンスの向上にすぐさまつながるわけではない．変化した内部機構がうまく働くための環境が再構築される必要があるのである．この環境の再構築が時間がかかるものであるとすれば，そこにはプラトーや U 字型の変化が現れるということになる．

以上，Speelman と Kirsner および Thelen と Smith の結果をまとめると，プラトー，U 字型変化など，練習のベキ法則を逸脱したパフォーマンスの原因を解明する鍵として，新たなコンポーネントの導入とその実行環境の (未) 整備が浮かび上がってくる．すなわち，新しいコンポーネントの導入が熟達のある時点で行われる．しかし，実行環境は古いコンポーネントのために作られたものであり，新しいコンポーネントがそのまま実行可能とはならないことが多い．こうしたことからそのスキルがうまく実行できず，スランプに陥るという可能性が示唆される．

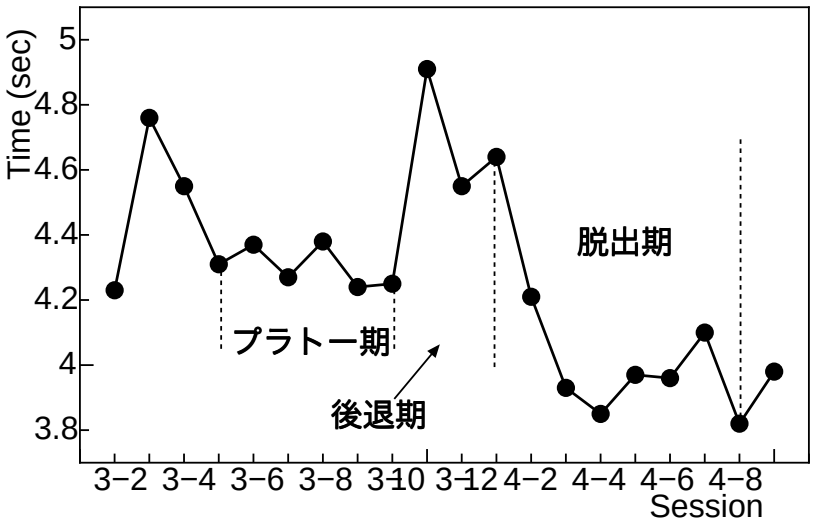


図 8.4: 3 日目から 4 日目にかけてのセッションの最短時間の変化.

8.5.2　環境の再構築の微視的分析

ここでは 3 日目 (346 試行) の中盤から 4 日目の中盤 (540 試行) にかけて現れたプラトー期，後退期，脱出期に焦点を当て，スキルと環境の関係の分析を行う．

8.4 に示したように，3 日目 5 セッションあたりから 1 セッション 15 試行の遂行時間の最小値が 4.3 – 4.4 秒程度で停滞する時期に入っていた．こうした状態が 6 セッション 90 試行続いた後に，最小値が 4.5 秒を超えて 5 秒台に近づくセッションが現れた．この後退期が 3 セッション 45 試行ほど続くと，遂行時間が急減に減少し，セッションの最小値が 4 秒を切るようになった．

この過程における変化を特定するために，各ブロックの接続にかかる時間の変化を分析した．被験者の組み立ては大きく 3 つのパートに分かれる．まず長いブロック 2 つを手元に引き寄せ，直線状に並べて，羽の土台部分を作る（8.1 の中の 1）．次にこの土台の左右に羽の突端をつける（8.1 の中の 2）．最後に小さなブロック 2 つと中くらいのブロック 1 つを連結させ，土台中央部に接続する（8.1 の中の 3）．この 3 つのパートの中で，全体の組み立て時間と同様の変動をしていたのが羽の突端の接続である．特に，モデル図形の左羽部分にあたる 4 番目のブロックを接続する際の時間が全体の時間の変化と強く関連していた．

そこでこのブロックの接続過程を詳細に分析した．するとこの時期には相互に排他的な 2 つのストラテジー，開指と屈指，の交代時期であることが判明した（8.5 参照）．この被験者の構成においては，左側 (被験者から

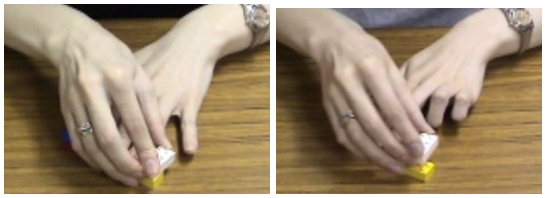
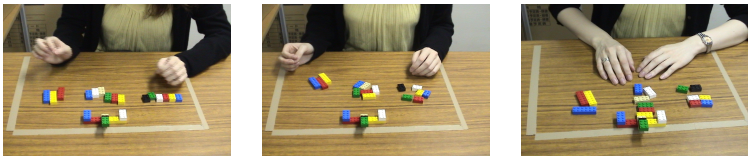


図 8.5: 開指と屈指.

見て）に接続される 4 番目のブロックを右手で持ってきたときに，左手の小指が障害となる．というのも，左手の人差し指，中指を用いて，羽中央部の 2 つのブロックを押さえているので，左手小指が 4 番目のブロックのまさに接続部分に位置してしまうからである．このとき左手小指を外に大きく開き，接続するブロックの障害にならないようにするのが開指である．一方，同様のことを左手小指 (場合によっては薬指も) を折り曲げて行うのが屈指である．



(a)　(b)　(c)

図 8.6: 作成環境の変化．(a) 最初期の配置 (1 日目の 1,2 セッション)．(b)1 日目後半以降の配置 (1 日目 3 セッション以降)．(c)2 日目 8 セッション目以降の配置.

この被験者は 1 日目から主に屈指を用いて状況に対処してきた．この時期にはセッションの最小値を生み出した試行の 80%において屈指が用いられてきた．ところがプラトー期に入る頃から徐々に開指を用いる試行が見られるようになる．そして後退期になると開指の試行は全体の 30%を占めるまでに増加する．また，この時期のセッションの最小値は開指と屈指を用いたものが半々となる．そして脱出期には約 2/3 の試行で開指を用いるようになった．さらにこの脱出期のセッションの最小値はすべて開指を用いたものであった．

また各セッションの分散も興味深いパターンを示している．開指を用いた試行における遂行時間の分散はプラトー期から脱出期まできわめて小さい．一方，プラトー期の初期は屈指の試行も分散は小さい．しかし，開指の比率が増えてくるに従って，屈指を用いた試行の遂行時間の分散は極端に大きくなる．

これらの分析結果は，3 日目から 4 日目にかけて現れた遂行時間の複雑

な変化は，開指と屈指という 2 つのコンポーネントスキルの交代がもたらしたものであることを示している．ここで重要なことは，開指，屈指ともに，次のメインの行為である 4 番目のブロックの接続環境構築のために行われているという点である．おそらく，4 番目のブロック接続について何らかの変化（接続するスピード向上，あるいはリズムの変化）が生じたために，それまでの屈指では十分に対応ができなくなり，開指が支配的になっていったと思われる．しかし，このような環境の再構築には，それまでの屈指の抑制や，前後のコンポーネントとの調整が必要になる．しかしそれが当初はうまくいかず，後退期に入ったと思われる．その後の後退期において開指の前後の作業との調整が徐々になされ，後退期を脱出することが可能になったと考えられる．

環境と熟達の間の相互依存関係は，より早い段階でも見られる．8.1 の中の 3 部分の作成に関して，3 種類の方法が観察された．1 つは,「両手空中接続」である．これは接続すべきブロックを両方の手で持ち上げ，空中で接続するというものである．2 つめの「両手机上接続」は，接続すべきブロックの片方を左手で持ち上げ，もう一方を机上において片手で押さえながら接続するというものである．3 つめの「片手机上接続」は，接続すべきブロックの片方を左手で持ち上げるが，もう片方のブロックには手を添えずに接続を行うというものである．このとき，右手はそれまでに作り上げた羽部分の中央に添えられている．このため，最後に行う胴体部分と羽部分の接続も円滑に行うことが可能になる．実行時間や流暢さにおいては片手机上接続がもっとも優れており，両手机上，両手空中の順になる．両手空中接続は誰でも実行可能だが，片手机上接続は大変に難しく，練習を積んでいない人が安定して行うことはほぼ不可能である．

こうしたことからすれば，接続方法はまず最初に両手空中が現れ，次に両手机上，そして最後に片手机上という順になるはずである．確かに，もっとも初期の段階では両手空中接続がほとんどの試行で用いられる．しかし 1 日目の 6 セッション目になると，もっとも高度な片手机上接続がそのセッションの約 1/4 程度を占めるようになる．これが数セッション続き，この接続方法が 1 日目の第 8 セッションでは 80%にもなる．ところが，この後片手机上接続はほとんどなくなってしまい，両手机上接続のみが用いられるようになる．そして，150 試行後の 3 日目 2 セッション目になると片手机上接続が復活し，その後はもっぱらこの方法を用いていた．

ここでは典型的な U 字型の変化が観察される．こうした複雑な変化が単一の要因で説明できるわけではないが，この過程で起きた環境の変化は見逃すことができない．8.6a に示したように，最初期，すなわち空中両手接続が行われていた時期には，すべてのブロックがその短辺を横にした形で並べられていた．しかし，この配置では片手で必要なブロックを順次

接続してくことはほぼ不可能である．2 日目の 8 セッションになると，必要なブロックが手元の方に集められ，不必要なブロックはモデル図形側に集められるようになる (8.6b)．これによって無駄な動きを省いた連続的な接続ができるようになる．しかし，胴体部を構成する左側の２つのブロック（黒と緑）の配置は必ずしも，片手机上接続が行いやすい配置にはなっていない．一方，8.6c に示した 3 日目以降に現れた配置では，これらのブロックが片手机上接続の時の手の動きに合った配置になっている．

以上のことから考えると，片手机上接続利用の U 字型の変化は，環境の変化と深く関係していることがわかる．すなわち，初期に現れた片手机上接続は，その実行が困難な環境の中で実行されていた．したがって，たまたまうまくいったときにはかなりよいタイムを残すことができるが，失敗も多い．実際，最初に片手机上接続が用いられる時期の 1 セッション内の胴体部分完成時間の分散はそれ以前の 5 倍程度なっている．こうしたことからこの接続方法は，より実行が容易な両手机上接続に取って代わられることになる．両手机上接続が行われる中で，徐々にブロックの配置も変化し，これがまた片手机上接続の復活につながったと考えられる．

8.6　討論

ここでは，これまでの分析の結果をスランプの持つ意味，環境の役割という観点からまとめて論じる．そして最後に単一被験者のパフォーマンスの分析が持つ問題点とその意義を論じる．

8.6.1　スランプがスキルの熟達に対して持つ意義

従来の多くの研究では，スキルの獲得過程を練習のベキ法則に従った単調な向上過程として捉えてきた．またこの法則はスキル獲得のモデルの多くにとってベンチマークとしての地位さえ得てきた (Speelman & Kirsner, 2005).

確かに本研究の扱ったデータもベキ法則により近似はできた．しかしそれは一次近似とでもいうべきものであり，ベキ法則からの系統的な逸脱が多数観察された．この逸脱は，状態空間法によりトレンドとして捉えられる，周期性のない変動，揺らぎであった．トレンドして捉えられたこうした変動はプラトー，後退，脱出という一連の変化を含んでいた．そして 8.5 で分析したように，そこには行動上の重要な変化が存在していた．本研究の題材とは異なるが，認知的スキルの獲得過程研究でも，同様の主張がなされるようになってきた．暗算のスキルの熟達過程を調べた Delaney, Reder, Staszewski, & Ritter (1998) や，Rickard (2004) は，熟達の過程には

ストラテジーの変更という大きな行動上，認知上の変化が含まれており，それが学習曲線の急激な変化，不連続性を生み出すことを示した．

以上のことからすれば，スランプはベキ法則からの誤差的な逸脱として扱われるべきではなく，学習の研究にとってきわめて重要な手がかりを提供するものとして扱われるべきであることがわかる．

8.6.2　スキルの熟達における環境の役割

本研究では行為の微視的な分析を通して，新たに導入されたスキル (コンポーネント) がそれまでのスキルの実行環境とマッチしないこと，および実行環境を再構築する過程で混乱が生じ，その結果スランプが生じることを明らかにした．

辞書的な定義によれば，スキルは「練習により獲得された能力」とされている．通常，能力というものは認知主体の内部に存在すると考えられているので，熟達過程における変化は内部的な変化として捉えられるケースがほとんどであった．8.2 で見てきたように，Soar も ACT-R もまたインスタンス理論も，認知主体内部の処理様式や知識の変化として，スキルの熟達を捉えていた．

しかしスキルは，特にそれが身体的，運動的スキルであるならば，必ず特定の物理環境下において実行される．すなわち，スキルはその環境下にあるさまざまな物体の性質，諸物体が作り出す配置，物体と主体との空間的な関係などの，さまざまな条件の下で行使されるのである．だとすれば，スキルの研究にはそれが実行される環境の分析は欠かせないことになる (三嶋, 2000).

スキルの熟達という,「変化」を扱う場合には，こうした環境の分析はさらに重要性を増す．というのも，ある段階のスキルの行使に必要な環境の情報と，次の段階のスキルの行使に必要な環境の情報が全く同じである場合は多くないからである．したがってスキルが変化する場合には環境も再構築されねばならないのである．

例えば，スポーツのトレーニングにおいて，複雑なスキルを要素的なコンポーネントに分解して，個々のコンポーネントを別々に訓練することがよく行われる．本研究の知見からすれば，こうした訓練方法は注意深く行われねばならないことがわかる．なぜならこの訓練方法では，コンポーネントスキル自体とそれが実際に実行される環境とが分離されてしまうからである．したがって，そのような場合には，訓練したコンポーネントスキルとその前後の行為との調整のための訓練も必要になることに留意しなければならない．

また本研究は，スキルのトレーニング過程におけるスランプを解消するためには，当該スキルの分析だけでは十分ではないことを示している．

その前後に行われる行為や，実行のための環境が，現在のスキルの水準にマッチしているかどうかを検討する必要がある．

8.6.3　スキルサイエンスにおける個人データの意義

本研究では，一人の被験者の学習過程に焦点化した分析を重ねてきた．こうした分析には，結果の再現性や，一般性の問題がついて回る．これについて今回の研究に関することと，スキルサイエンスにおける研究全体に関することの 2 つについて論じる．

まず今回の実験で用いた課題は以前の研究には見られないものであるが，基本的には単純なマニュアル操作課題であり，この分野の多くの研究と同じタイプの課題である．また実験手続きも特殊な部分は含んでおらず，これもこの分野の大半の研究と同じである．データに関してはどうであろうか．今回のデータに見られた初期の急激な進歩と，それに続く緩慢な進歩は，スキル学習の心理学的研究が示してきたことと合致している．プラトーについては，確かに意見が分かれるところではあるが，本研究のデータは Norman (1982) や，Seibel (1963) とは同様の傾向を示している．特に，今回のデータにおいて見られた，ベキ直線周辺の長期にわたるうねりは，8.3 で述べた木村の一連の研究の知見と一致している．被験者を増やし同様の傾向を確認することが，研究の信頼性を高めることは確かである．しかし，上記のことからすれば，こうした意味において，本研究のデータは標準的な手続きを用いた実験から得られた一般的な性質を持つものと考えることができる．

きわめて長期にわたる練習からのデータや，たぐいまれな才能の持ち主の示すパフォーマンスを分析する場合，被験者を数十人の単位で揃え，無作為割り付けを行うことはほぼ不可能である．また仮にそれが可能であるとしても，そこでのパフォーマンスを平均などの代表値で分析することは，今回の研究のような認知システムの「変化」に焦点を当てた研究にとってはマイナス面も多い (鈴木, 2006)．なぜなら次の段階への進歩を促す揺らぎなどの情報が，代表値への集約過程で誤差として扱われてしまうケースが多いからである．スキルの本性を探るスキルサイエンスにとって，標準的な手法を用いた研究が重要であることは論を待たないが，それと単一被験者データの微視的分析からの知見を組み合わせることは，大きな飛躍の可能性につながるはずである．

8.7　まとめと今後の課題

本研究では，(1) スキルの熟達がスランプを含んでいること，(2) スランプの原因の 1 つはスキルとその実行環境とのミスマッチによって生じること，を明らかにするために行われた．まず単純な組み立て作業を多数回行わせた際の遂行時間の変化に焦点をあてた．状態空間法を用いることにより，ベキ直線周辺に現れる長期に渡る揺らぎを捉えることができた．このことは揺らぎがランダムに生じるわけではなく，何らかの規則性を持っていることを示している．

次にこれらの揺らぎの中で特徴的な性質を持つ部分に注目した．ここでは，まず比較的長いプラトーが存在した後に，パフォーマンスの後退が見られ，その後に急激なパフォーマンスの向上が見られた．プラトー期，後退期におけるパフォーマンスの微視的分析の結果，主要な行為を実行するための環境構築の変化が深く関係していることが明らかになった．またパフォーマンスが U 字型の変化をした部分の分析結果も，行為の実行環境の構築が課題遂行のストラテジーに深く関係していることが示された．いずれの例も，主要な行為と環境とのミスマッチによりスランプが生じ，このミスマッチが解消されることにより，パフォーマンスが改善されることを示している．このように環境の側からスキルを分析することを通して，スランプなどの逸脱的な現象を科学的に解明する可能性が開けてくる．

最後に今後の課題について触れる．上記の知見は，1 つの作業における一人の被験者の行為の変化から導きだされたものである．確かにこの知見は特殊な操作を加えた環境下で得られたものではないし，他の研究と整合的な部分も多い．しかし，被験者数を増やすことや，他の課題での検証は，この知見をより確かなものにするためには必須である．

熟達過程における意識ー無意識の問題はきわめて重要である．特に諏訪らは自らの練習の過程をメモしながら振り返るメタ認知的言語化がスキルの熟達に深く関係していることを示している (例えば (諏訪, 2005))．本研究では，意識的制御に関わるデータを一切取っていないので，ここに見られた変化が意識的なものに起因するのか，あるいは意識的コントロールを離れたメカニズムによるものかを特定することはできない．これも今後の課題となる．

引用文献

Adams, J. A. (1987). Historical review and appraisal for research on the learning, retention, and transfer of human motor skills. *Psychological Bulletin*, *101*, 41 – 74.

赤池 弘次・北川 源四郎 （編）. (1994). 『時系列解析の実際 i』. 朝倉書店.

赤池 弘次・北川 源四郎 （編）. (1995). 『時系列解析の実際 ii』. 朝倉書店.

Anderson, J. R. (1981). *Cognitive psychology and its implications*. San Francisco, CA: Freeman.

Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Bornstein, R. F. (1989). Exposure and affect: Overview and meta-analysis of reseach, 1968 - 1987. *Psychological Bulletin*, *106*, 265 – 289.

Bridle, J. S. (1990). Probabilistic interpretation of feedforward classification network outputs with relationships to statistical pattern recognition. In F. Fogelman-Soulie & J. Herault (Eds.), *Neurocomputing: Algorithms, architectures, and applications* (pp. 227 – 236). Berlin: Springer–Verlag.

Bryan, W. L., & Harter, N. (1899). Studies on the telegraphic language: The acquisition of a hierarchy of habits. *Psychological Review*, *6*, 345 – 375.

Crossman, E. R. F. W. (1959). A theory of the acquisition of speed-skill. *Ergonomics*, *2*, 153 – 166.

Delaney, P. F., Reder, L. M., Staszewski, J. J., & Ritter, F. E. (1998). The strategy-specific nature of improvement: The power law applies by strategy within task. *Psychological Science*, *9*, 1 – 7.

Duncker, K. (1945). *On problem solving* (Vol. 58). American Psychological Association.

Evans, J. S. B. T. (2003). In two minds: dual-process accounts of reasoning. *Trends in Cognitive Science*, *7*, 454 – 459.

Finke, R. A. (1995). Creative insight and preinventive forms. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight*. Cambridge, MA: MIT Press.

Goodale, M., & Milner, D. (2005). *Sight unseen*. Oxford, UK: Oxford University Press. (鈴木光太郎・工藤信雄（訳）(2008)「もうひとつの視覚：＜見えない視覚＞はどのように発見されたか」 新曜社)

Granott, N., & Parziale, J. (Eds.). (2002). *Microdevelopment: Transition processes in devlopment and learning*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

波多野 誼余夫・稲垣 佳世子. (2003). ヒト知性の生得的基盤. 『人工知能学会誌』, *18*, 416 – 425.

Heathcote, A. S., Brown, S., & Mewhort, D. J. K. (2000). The power law repealed: The case for an exponential law of practice. *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*, 185 – 207.

開 一夫・鈴木 宏昭. (1998). 表象変化の動的緩和理論. 『認知科学』, *5*, 69 – 79.

Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science*, *13*, 295 – 355.

Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1995). *Mental leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge, MA: The MIT Press. (鈴木宏昭・河原哲雄 監訳 (1998).『アナロジーの力：認知科学の新しい探求』. 新曜社)

生駒 忍. (2008). 知覚的流動性誤帰属説. 宮本 聡介・太田 信夫（編）『単純接触効果の最前線』 (pp. 26 – 36). 北大路書房.

今井 むつみ. (1997).『ことばの学習のパラドックス』. 共立出版.

Isaak, M. I., & Just, M. A. (1995). Constraints on thinking in insight and invention. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 281 – 325). Cambridge, MA: MIT Press.

Jimura, K., Komazaki, H., Matsuoka, T., Nakagawa, M., & Kusumi, T. (2000). A dynamical model of insightful memory retrieval. In *Proceedings of the Twenty-Second Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 711 – 716). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Kaplan, C. A., & Simon, H. A. (1990). In search for insight. *Cognitive Psychology*, *22*, 374 – 419.

Keller, F. S. (1958). The phantom plateau. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, *1*, 1 – 13.

木村 泉. (1998). 練習の巾乗法則の折紙実験による再検討. 『日本認知科学会第 15 回大会発表論文集』 (pp. 82 – 83).

木村 泉. (2000). 練習の巾乗法則が語り残したこと – 連の数による再検討. 『日本認知科学会第 17 回大会発表論文集』 (pp. 186 – 187).

木村 泉. (2002). 折り紙作業の外発的変動と内発的変動. 『日本認知科学会第 19 回大会発表論文集』 (pp. 166 – 167).

木村 泉. (2003). 長期的技能習得データの「見晴らし台」とその意義. 『日本認知科学会第 20 回大会発表論文集』 (pp. 28 – 29).

北川 源四郎. (2005).『時系列解析入門』. 岩波書店.

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.

Kolers, P. A. (1976). Reading a year later. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, *2*, 554 – 565.

Kunst-Wilson, W. R., & Zajonc, R. B. (1980). Affective discrimination of stimuli that cannot be recognized. *Science*, *207*, 557 – 558.

Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, *11*, 65-99.

Lassaline, M. E., & Logan, G. D. (1993). Memory-based automaticity in the discrimination of visual numerosity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *19*, 561 – 581.

Lewicki, M., P. adn Czyzewska, & Hoffman, H. (1987). Unconscious acquisition of complex procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*, 523 – 530.

Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*, 492 – 527.

Logan, G. D. (1990). Repetition priming and automaticity: Common underlying mechanisms. *Cognitive Psychology*, *22*, 1 – 35.

MacGregor, J. N., Ormerod, T. C., & Chronicle, E. P. (2001). Information processing and insight: A process model of performance on the nine-dot and related problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning,Memory,and Cognition*,

27, 176 – 201.

Markman, E. M. (1989). *Categorization and naming in children*. Cambridge, MA: MIT.

Metcalfe, J. (1986). Premonition of insight predict impeding error. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *12*, 623 – 634.

三嶋 博之. (2000). 『エコロジカル・マインド：知性と環境をつなぐ心理学』. 日本放送出版協会.

三宅 なほみ・波多野 誼余夫. (1991). 日常的認知活動の社会文化的制約. 『認知科学の発展』, *4*, 105 - 132.

村越 真・松井 孝雄. (1995). 潜在学習. 『認知科学』, *2*, 12 – 23.

村山 功. (1995). 外的資源による課題と認知主体の変化. 『認知科学』, *2*, 28 – 38.

Neves, D. M., & Anderson, J. R. (1981). Knowledge compilation: Mechanisms for automatization of cognitive skills. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Newell, A., & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Nisbett, R. E., & Wilson, T. D. (1977). Telling more than what we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, *84*, 231 – 259.

Norman, D. A. (1982). *Learning and memory*. San Francisco: Freeman. (富田達彦（訳）『認知心理学入門』. 誠信書房)

Ohlsson, S. (1992). Information processing explanations of insight and related phenomena. In M. T. Keane & K. J. Gilhooly (Eds.), *Advances in the psychology of thinking, vol. 1* (pp. 1 – 44). Hertfordshire, UK: Harvester.

Reber, A. S. (1969). Transfer of syntactic structure in synthetic languages. *Journal of Experimental Psychology*, *81*, 115 – 119.

Reber, A. S. (1993). *Implicit learning and tacit knowledge: An essay on the cognitive unconscious*. New York: Oxford University Press.

Rickard, T. C. (2004). Strategy execution and cognitive skill learning: An item-level test of candidate models. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *30*, 65 – 82.

Rosch, E. (1978). Principles of categorization. In E. Rosch & B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 27 – 48). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Ruger, H. A. (1910). The psychology of efficiency. *Archives of Psychology*, *19*, 15.

Schooler, J. W., Fallshore, M., & Fiore, S. M. (1995). Epilogue: putting insight into perspective. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight*. Cambridge, MA: MIT Press.

Schooler, J. W., Ohlsson, S., & Brooks, K. (1993). Thoughts beyond words: When language overshadows insight. *Journal of Experimental Psychology: General*, *122*, 166 – 183.

Seamon, J. G., Brody, N., & Kauff, D. M. (1983). Affective discrimination of stimuli that are not recognized: Effects of shadowing, masking, and cerebral laterality. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *9*, 544 – 555.

Seibel, R. (1963). Discriminative reaction time for a 1,023 alternative task. *Journal of Experimental Psychology*, *66*, 215 – 226.

Siegler, R. S. (2000). Unconsicous insights. *Current Directions in Psychological Science*, *9*, 79 – 83.

Siegler, R. S., & Stern, E. (1998). A microgenetic analysis of conscious and unconscious strategy discoveries. *Journal of Experimental Psychology: General*, *127*, 377 – 397.

Sloman, S. A. (1996). The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological Bulletin*, *119*, 3 – 22.

Smith, S. M., Ward, T. B., & Finke, R. A. (1995). *The creative cognition approach*. Cambridge, MA: MIT Press.

Speelman, C. P., & Kirsner, K. (2005). *Beyond the learning curve: The construction of mind*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Stanovich, K. E. (2005). 『The robot ’s rebellion: Finding meaning in the age of darwin』. Chicago: Chicago University Press.

Sternberg, R. J., & Davidson, J. E. (1995). *The nature of insight*. Cambridge, MA: MIT Press.

諏訪 正樹. (2005). 身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化. 『人工知能学会誌』, *20*, 525 – 532.

鈴木 宏昭. (2001). 思考と相互作用. 『認知科学の新展開 2 「コミュニケーションと思考」』 (pp. 163 – 201). 岩波書店.

鈴木 宏昭. (2002). 『洞察問題解決における認知メカニズムの解明と計算モデルの構築』 (Tech. Rep.). 平成 10–12 年度 科学研究費補助金基盤研究 (C)（2）成果報告書.

鈴木 宏昭. (2006). 学習と発達におけるゆらぎ. 鈴木 宏昭（編）『知性の創発と起源』 (pp. 137 – 139). オーム社.

Suzuki, H., Abe, K., Hiraki, K., & Miyazaki, M. (2001). Cue-readiness in insight problem-solving. In *Proceedings of the Twenty-Third Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 1012 – 1017). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

鈴木 宏昭・開 一夫. (1997). 制約緩和プロセスとしての表現変換 – 洞察プロセスの理論化へ向けて. 『日本認知科学会「学習と対話」研究分科会研究報告』, *97-1*, 33 – 42.

Suzuki, H., & Hiraki, K. (1997). *Constraints and their relaxation in the processes of insight* (Tech. Rep. No. TR-97-13). Electrotechnical Laboratory.

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.

Suzuki, H., Miyazaki, M., & Hiraki, K. (1999). Goal constraints in insight problem-solving. In *Proceedings of the Second International Conference on Cognitive Science* (pp. 159 – 164).

鈴木 宏昭・宮崎 美智子・開 一夫. (2003). 制約緩和から見た洞察問題解決における個人差. 『心理学研究』, *74*, 336 – 345.

Terai, H., & Miwa, K. (2003). Insight problem solving from the viewpoint of constraint relaxation using eye movement analysis. *Proceedings of the 4th International Conference of Cognitive Science Society*, 671 – 676.

Thagard, P., Holyoak, K. J., Nelson, G., & Gochfeld, D. (1990). Analog retrieval by constraint satisfaction. *Artificial Intelligence*, *46*, 259-310.

Thelen, E., & Smith, L. B. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Vanderplas, J. M., & Gravin, E. A. (1959). The association value of random shapes. *Journal of Experimental Psychology*, *57*, 147 – 154.

Veling, H., Holland, R. W., & vanKnippenberg, A. (2007). Devaluation of dstracting stimuli. *Cognition and Emotion*, *21*, 442 – 448.

Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York: Harcout Brace Jovanovich.

Waltz, D. L. (1975). Understanding the drawing of scenes with shadows. In P. H. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision* (pp. 19 – 91). New York: McGraw-hill. (白井良明・杉原厚吉 (訳)「コンピュータビジョンの心理」産業図書, 1979)

Ward, T. B., Smith, S. M., & Vaid, J. (1997). *Creative thought: An investigation of conceptual structures and processes*. Washington, DC: APA.

Weisberg, R. W., & Alba, J. W. (1981). An examination of the alleged role of "fixation" in the solution of "insight" problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, *110*, 169 – 192.

Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of Personality and Social Psychology: Monograph*, *9*, 1 – 27.

Zhang, J., & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, *18*, 87 – 122.

山崎 治・三輪 和久. (2001). 外化による問題解決の変容. 『認知科学』, *8*, 103 – 116.