

觀察を通して得られた事例に基づく規則推論に
関する実験的検討

松室 美紀

概要

人間は、絶えず推論を行っている。例えば、ある国へ行った時、とても親切にされた。そして、次にその国に行った時も、その次に行った時も、同様に親切にされた。このような経験から、その国の人は皆親切だという結論を導く。そこで、次もその国に旅行することを決定する。このように、我々は日々直面する事象から規則性を見いだし、新しい状況にそれを適用することにより、円滑に生活を送ることができる。事象や事例から規則性を見いだすことを帰納的推論という。帰納的推論は、規則性を見つけることを目的とする科学の場だけではなく、言語の獲得や、友人の性格を知ろうとするというような日常的な場面まで、広く利用されている。本論文は、帰納的推論の一種である、観察により得られた事例、つまり、推論者が自ら生成したのではない事例に基づく規則推論に焦点を当てる。

多くの研究により、推論課題の成績は、個人間の差異と推論を行う状況の両方により変化することが示されてきた。しかし、それらの研究の多くが、規則を発見できたか否かに注目して分析を行っている。規則の発見は推論の結果であり、その規則を発見するまでの過程については分析できていない。そこで、本論文の研究では、事例に基づく規則推論において規則が生成されるまでの過程を明らかにすることを目的とし、実験を行った。

事例に基づく規則推論は、事例から規則性を見つけ、その規則性をテストすることを繰り返すことにより行われる。しかし、事例は多くの情報を含み、同時に幅広い種類の大量の規則が生成可能である。そのため、一度に全ての情報や規則を対象として推論を行うことは不可能である。そこで、規則推論者は始めに、どのような規則を考えるかという枠組みを決定することにより、推論に用いる情報や生成する規則を絞り込むことができる。本論文では、規則のタイプを規定する枠組みをフレームと呼び、どのような規則を考えるかを決定することを、規則のフレームの決定とした。規則のフレームを決定した後、その規則のフレームにそって観察を行い、具体的な規則を決定

する。例えば，ある作物の収穫量とその栽培環境の関係を考える時に，ある人は日照時間と収穫量の間に規則性が存在すると考えたとする。その場合，その人は収穫量と日照時間に関する規則という規則のフレームを用いて規則を推論することを決定したこととなる。その後，収穫量は日照時間の2乗に比例する等の具体的な規則を決定する。本論文では研究の対象を具体的な規則が生成されるまでの過程としている。そのため，例で示したように具体的な規則を生成する前に決定される規則のフレームを分析の対象とした。本論文では，規則のフレームの決定が，個人間の能力の差異，また，推論を行う状況の変化により，どのように影響されるのかという2点に焦点を当て，それぞれに関する研究を行った。さらに，規則のフレームという，言語で表現することが困難な対象を取得するために，眼球運動を測定した。

本論文は5章から構成される。以下に各章の概要を示す。

第1章では，Simon & Lea (1974) による規則推論の情報処理システムの枠組みと Klahr & Dunbar (1988) による科学的発見のモデルに基づき，事例に基づく規則推論のプロセスとその情報の流れをまとめた。規則推論のプロセスは，大別すると事例の観察と規則の生成，規則のテストから構成された。さらに，規則の生成は規則のフレームの決定とそのフレームを用いた具体的な規則の決定から構成された。続いて，規則推論の先行研究を個人差に関する研究と，状況の変化に関する研究の2タイプにわけ紹介した。それらの研究について，構築した規則推論のプロセスに基づき問題点を挙げ，本論文の目的を述べた。また，本論文の実験に使用された課題，および，眼球運動測定による規則のフレームの取得法について説明を行った。

第2章では，規則推論の過程に，参加者の個人差がどのように影響するかについて，作動記憶容量 (WMC) に注目し検討を行った。第1に，先行研究で示された WMC と規則推論の成績の正の相関と同様に，WMC が大きい参加者のほうが，WMC が小さい参加者より規則発見の成績が良いことが追試された。さらに，WMC が規則推論にどのように影響するかを調べるため，事

例の観察方略と同じフレームを用いた規則の生成の継続時間に WMC が影響するかを検討した。WMC が異なる参加者の規則推論課題の遂行過程を比較した結果、事例の観察方略に関しては WMC の大小による差があった。WMC が大きい参加者のほうが、WMC が小さい参加者より事例の比較を頻繁に行う方略をとった。一方、同じフレームを用いて規則の生成を続ける時間には WMC の大小による影響は認められなかった。以上のことから、WMC の大きい参加者は、事例の比較を通して、規則の推論に有用な情報を得ることができたため、規則発見の成績が良かった可能性が示唆された。

第3章では、初めに見つけた初期規則が間違っていた際の規則推論について検討を行った。そのような場合、初期規則に対する正事例と負事例が混在する期間が生じる。この混在期間において、参加者がそれまでと同じ規則のフレームを用いて規則を考えるのか、それともすぐに違う規則のフレームを使用し始めるのかを検討した。実験の結果、参加者は負事例に直面した後も、それまで使用していた初期規則のフレームを用い続けることが明らかとなった。さらに、混在期間において、正事例に直面したときより、負事例に直面したときに、その傾向が顕著となった。これらの結果から、参加者は初期規則をすぐには棄却せず、それを修正したり付加規則を加えたりすることにより、負事例を説明しようとしていたと考えられる。さらに、このような傾向は、その後、正しい規則を発見できたかどうかに関わらず、同様であった。

第4章では、総合考察として、それぞれの研究の結果を、第1章でまとめた規則推論のプロセスと関連付けて論じた。特に、規則の推論において、事例や規則のテスト結果から得られた情報が、どのように用いられているかに着目した。規則推論のプロセスにおける情報の流れを明らかにすることにより、規則推論過程の更なる理解を目指した。

第5章の結論では、本論文の総括を行い、本論文の方法論的利点と得られた知見をまとめた。さらに、本研究の結果から、今後必要とされる研究を挙げた。

目次

第1章 序章	1
1.1 背景	1
1.2 規則推論のプロセス	3
1.3 先行研究	9
1.3.1 WMCの影響	9
1.3.2 負事例の影響	10
1.4 研究法	12
1.4.1 WMC研究の問題点	12
1.4.2 負事例研究の問題点	13
1.4.3 本論文における研究法	13
1.5 本論文の目的と構成	16
1.6 規則推論課題	17
1.6.1 推論課題の流れ	17
1.6.2 推論課題における規則空間	19
1.6.3 指標	22
第2章 作動記憶容量が規則推論に与える影響に関する検討	25
2.1 情報の保持と注意のコントロール	25
2.2 仮説	27
2.2.1 事例の観察方略	27
2.2.2 規則の機能の決定	28

2.3	スクリーニングテスト	31
2.4	実験	33
2.4.1	方法	33
2.4.2	予測	38
2.4.3	結果	39
2.5	研究1の考察	43
第3章	正負の事例が混在する場面における規則推論に関する検討	47
3.1	3段階のフェーズ	48
3.2	仮説	49
3.3	実験課題	52
3.3.1	実験課題の流れ	54
3.3.2	予測	56
3.4	実験1	58
3.4.1	方法	58
3.4.2	結果	60
3.4.3	考察	63
3.5	実験2	65
3.5.1	方法	65
3.5.2	結果	66
3.5.3	考察	72
3.6	研究2の考察	73
3.6.1	初期規則の維持	74
3.6.2	先行研究との比較	75
第4章	総合考察	79
4.1	研究の概要	79
4.2	研究の結果と規則推論プロセス	81

4.2.1	事例の観察	81
4.2.2	テスト結果と規則空間の探索	83
4.2.3	フレームの決定	84
第 5 章	結論	87
	謝辞	92
	引用文献	95
	関連論文	102
	付録	106
付録 A	Klahr & Dunbar (1988) による仮説空間の表現	107
付録 B	SDDS モデルの要素	109
付録 C	各パネルの利用法の練習課題	111
C.1	矢印パネルの練習	111
C.2	方位パネルの練習	112
C.3	数字パネルの練習	113
付録 D	空間スパンテスト	115

図目次

1.1	規則推論における情報の流れ	4
1.2	本研究の検討状況における規則推論のプロセスとその情報の 流れ	8
1.3	推論課題の画面例	17
1.4	推論課題の流れ	18
1.5	推論課題における規則空間の構造	20
1.6	推論課題における観察時間	22
2.1	研究1に用いられた課題画面のスクリーンショット	34
2.2	研究1における実験の流れ	35
2.3	事例の切り替え回数とパネルの観察時間	40
2.4	パネルの観察時間と事例切り換え回数の関係	41
3.1	研究2に用いられた課題画面のスクリーンショット	52
3.2	研究2における実験の流れ	55
3.3	各条件における各規則の報告者の割合	61
3.4	条件ごとのテストにおける初期規則の利用割合	62
3.5	本番問題の各規則の報告者割合	67
3.6	テストにおける初期、包括規則の利用割合	67
3.7	各ブロックにおける各パネルの観察時間の割合	68

3.8	初期期間と混在期間における1試行あたりの各パネルの合計観 察時間	69
3.9	混在期間における正負の事例の1試行あたりの各パネルの合計 観察時間	70
3.10	包括規則の発見, 未発見者別の正負の事例における各パネルの 合計観察時間	71
4.1	規則推論のプロセスとその情報の流れ	82
A.1	Klahr & Dunbar (1988) による仮説空間の表現	107
B.1	SDDSモデルにおけるプロセスの階層図	110
C.1	矢印パネルの練習課題の画面	111
C.2	方位パネルの練習課題の画面	112
C.3	数字パネルの練習課題の画面	113
D.1	空間スパンテストの課題画面	115

第 1 章

序章

1.1 背景

人間は日々、新たな状況に直面し、その中で判断を下し、行動をすることにより生活している。そのような状況において、推論 (reasoning) は非常に重要なプロセスである。推論とは、既知、または、明らかとなっている事柄に基づき、明示的に示されていない未知の事柄を導く過程を指す。新たな状況では、人間は推論の結果に基づいて、判断や行動を行う。推論のタイプは演繹的推論 (deductive reasoning) と帰納的推論 (inductive reasoning) に分けられる (市川, 1997)。

演繹的推論とは、前提に一般的な原理や推論規則を適用することにより、結論を導き出す過程である。論理学における、三段論法や数学的帰納法がこれに含まれる (Johnson-Laird, 1999)。例えば、“全ての犬は吠える、柴犬は犬である、よって、柴犬は吠える” は演繹的推論の一例である。全ての犬は吠えるという一般的な原理と柴犬が犬であるという事実から、柴犬は吠えるという結論を導き出している。

一方、帰納的推論には、演繹的推論以外の全ての推論が含まれる。さらに、帰納的推論は、具体的な事実の集合からその特徴や法則性を導き出す枚挙的帰納法と、類推およびアブダクションの3種類に分けられる。狭義の意味での帰納的推論は枚挙的帰納法のみを指す。“柴犬は吠える、ゴールデンレト

リーバーは吠える，柴犬とゴールデンレトリバーは犬である，よって，（全ての）犬は吠える”という例は帰納的推論のうちの枚举的帰納法にあたる。犬の具体例である柴犬とゴールデンレトリバーが吠えるという事例から，犬は吠えるという特徴を導き出している。帰納的推論は問題解決，概念の獲得，学習など，様々な活動に関連して用いられている (Holland, Holyoak, Nisbett, & Thagard, 1986)。本研究は帰納的推論，特に，枚举的帰納法に基づく規則推論を対象としている。なお，以降で帰納的推論と言及する場合，それは枚举的帰納法を指すものとする。

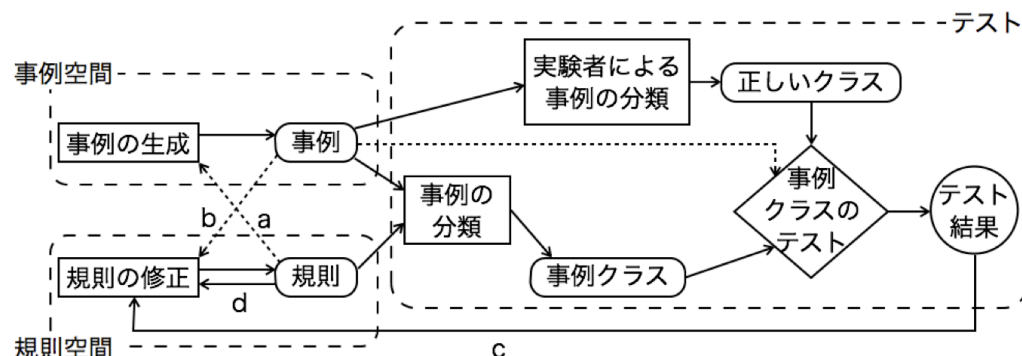
帰納的推論には具体的な事例が必要となる。事例の獲得の方法は大きく2種類が存在する。第1の方法は，対象に操作を加えず，よく見る，または，記録することにより事例を得る“観察”である。天文学や文学の研究のように，環境の操作が不可能な場合に用いられる (Langley, 1981; Qin & Simon, 1990)。さらに，言語の獲得などの日常における規則性の推論は，主に観察により収集された事例に基づいて行われる (Imai, Haryu, & Okada, 2005; Waldmann & Holyoak, 1992)。ただし，観察により得られる事例は，必ずしも推論に有益な事例であるとは限らない。第2の方法は，対象に操作を加え，その結果を記録することにより事例を得る“実験”である (Klahr, 2000; Klahr & Dunbar, 1988; Qin & Simon, 1990)。化学など環境の操作が可能な場合では，実験により目的に合わせた事例が生成される。実験を行うことにより，規則推論のために有益な事例を得ることができる。本論文では，日常的に頻繁に行われる，観察により得られた事例に基づく帰納的推論を用いた規則の推論 (以降，事例に基づく規則推論と呼ぶ) を対象とする。

1.2 規則推論のプロセス

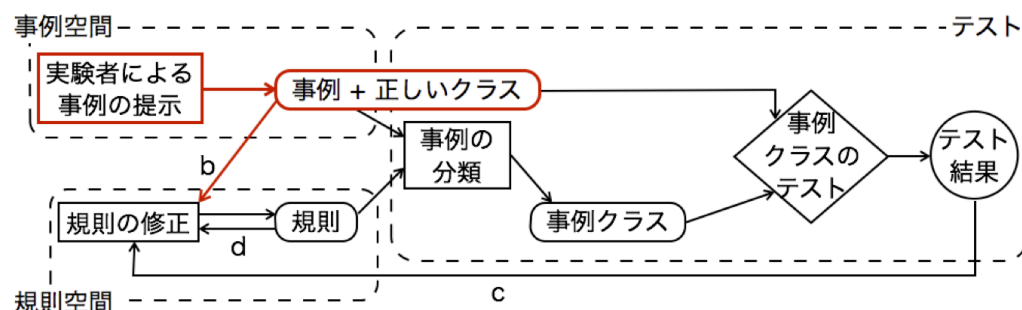
事例に基づく規則推論は次の3段階から成る(楠見, 1996): (1) 事例の観察を行い, (2) 観察に基づき規則性に関する仮説をたて, (3) 仮説の検証を行う。仮説が正しいことが立証されると, 規則の推論は終了される。Simon & Lea (1974) は, General Rule Inducer (GRI) と呼ばれる, 規則推論と問題解決を包括的に説明する情報処理システムを提案した。GRIでは, General Problem Solver (GPS; Newell & Simon, 1972) に基づき, 規則推論を問題空間とその探索のための情報処理の観点から説明している。

Simon & Lea (1974) は, 規則推論が規則空間と事例空間の2種類の問題空間の探索からなるとした。規則空間は課題状況において生成可能な全ての規則を含み, その探索により, 規則の生成や修正が行われる。事例空間は課題における事例のセットからなり, その探索により事例の生成が行われる。生成された事例の評価を行うことにより, 規則のテストが行われる。先述の3段階と照らし合わせると, 事例空間の探索が事例の観察と, 規則空間の探索が仮説の生成と, テストが仮説の検証と対応している。

GRIでは, 規則推論の際に次ページの図 1.1(a) に示された情報の流れが存在するとされた。ただし, 破線で示された矢印は, 規則推論の状況により存在しない場合もある。各空間の探索において事例と規則が生成, 修正される(図 1.1(a) 事例, 規則空間の枠内)。その際, 生成した規則のテストに役立つ事例を生成するために, 規則から事例の生成へと生成した規則の情報が伝えられる(図 1.1(a) 矢印 a)。規則の修正においては, 事例とその分類を利用するために, 事例から規則の修正へ観察した事例の情報が伝えられる(図 1.1(a) 矢印 b)。図 1.1(a) の右部は規則のテストにあたる。参加者は自身が生成した規則に基づき生成した事例を分類し, そのクラスを予測する。同時に, 参加者により生成された事例には, 実験者により設定された規則に基づく, 正しいクラスが存在する。参加者の予測したクラスと実験者による正しいクラスの比



(a) Simon & Lea (1974) による情報の流れ



(b) 実験者により事例が提示される規則推論における情報の流れ

図 1.1 規則推論における情報の流れ. (a) Simon & Lea (1974) による情報の流れ. 矢印のアルファベット, 日本語訳, 事例, 規則空間, テストの枠は筆者による. (b) 実験者により事例が提示される規則推論における場合の情報の流れ. Simon & Lea (1974) との差異を赤で示す.

較により, 参加者の予測が実験者の設定と一致しているかというテスト結果が得られる。このテスト結果は以降の規則の修正に利用される (図 1.1(a) 矢印 c)。また, それまでのテストに基づき参加者が誤りと判断した規則の生成を避けるため, 規則から規則の修正へ生成した規則に関する情報が伝えられる (図 1.1(a) 矢印 d)。

続いて, GRI に基づき本研究の対象となる, 実験者により事例が提示される状況はどのように表されるかを図 1.1(b) に示す。まず, 規則の推論に利用される事例は, 実験参加者が生成するのではなく, 実験者により与えられる。そのため, 図 1.1(b) の事例空間の枠内では, 図 1.1(a) における事例の生成が, 実験者による事例の提示に置き換えられる。Gregg & Simon (1967) は, GRI と

同様の構造のプログラムを用い、Bower & Trabasso (1964) により行われた概念獲得の実験結果のシミュレーションを行った。Bower & Trabasso (1964) による実験では、参加者は複数の次元を持つ事例を実験者により提示され、その事例がポジティブとネガティブのどちらに分類されるかを判断した。分類は事例の持つ複数の次元のうちの1つに基づき決定された。参加者はフィードバックを通し、正しい分類ができるようになることを求められた。実験者により事例が与えられる状況では、生成した規則に基づき事例を生成することができない。そのため、Gregg & Simon (1967) は GRI に存在した、図 1.1(a) の矢印 a で示される、規則から事例の生成への情報の伝達をプログラムから除外した。彼らは、そのプログラムを用い、事例と規則から規則の修正へ (図 1.1(a) 矢印 b, d)、および、テスト結果から規則の修正への情報の流れ (図 1.1(a) 矢印 c) の量を操作し、規則発見パフォーマンスのシミュレーションを行った。その結果から、彼らはそれらの情報の流れの量が、参加者の短期記憶の容量や情報の観察時間によって異なることを明らかにした。

実験者により事例が提示されるという点は、本研究の対象とする状況と Bower & Trabasso (1964) による実験で共通している。そのため、Bower & Trabasso (1964) の実験をシミュレーションした Gregg & Simon (1967) のプログラムと同様に、図 1.1(b) には事例から、また、規則から規則の修正へ (図 1.1(b) 矢印 b, d)、および、テスト結果から規則の修正へ (図 1.1(b) 矢印 c) の情報の流れが存在するが、図 1.1(a) と異なり、生成された規則の情報は事例の提示に利用されない (図 1.1(a) 矢印 a の削除)。

以上の変更に加えて、本研究では Bower & Trabasso (1964) の課題と異なり、実験参加者は事例のクラスの判断を求められない。参加者が規則のテストを行った時に、実験者により設定されたクラス (正しいクラス) が明らかにされるのではなく、実験者により事例とともにその設定されたクラスが提示されている。よって、図 1.1(a) における事例は、図 1.1(b) では“事例と正しいクラス”の組に変更される。事例とそのクラスがともに与えられることは、親が

子どもに実際のウサギを指差して「あれはウサギです」と教えるというように、日常的な場面でも多く生起する。図1.1(a)では事例は、その事例を用いたテストの結果と組み合わせて規則の生成に利用された(図1.1(a) 矢印b, c)。一方、正しいクラスとともに事例が提示される図1.1(b)では、参加者は提示された事例とそのクラスの組み合わせを満たす規則を生成する必要がある。そのため、規則の修正には、事例とそのクラスの組み合わせの情報が重要である(図1.1(b) 矢印b)。

また、実験参加者は生成された規則のテストを、実験者により新しく提示される事例とそのクラスを観察することにより行う(図1.1(b) テストの枠内)。規則を生成した参加者は、新しく提示された事例のクラスを、生成した規則に基づき予測し、同時に提示されたクラスがその予測に一致するか否かを確認する。事例クラスのテストに実験者により新しく提示された事例とそのクラスを利用する点以外、テストの流れに図1.1(a)からの変更は存在しない。

続いて、規則空間の構造について、Klahr & Dunbar (1988) が GRI の構造から拡張した、Scientific Discovery as Dual Search (SDDS) モデルに基づき考える。SDDS モデルは GRI と同様に 2 種類の空間の探索からなる科学的発見のモデルであり、それぞれの空間を仮説空間と実験空間としている。Klahr & Dunbar (1988) は、科学的発見が仮説空間の探索による仮説の生成と、実験空間における仮説の検証を通して起こると主張した。彼らは、科学的発見における各空間の構造や、探索法を GRI よりも詳細に記述した。GRI と SDDS モデルは、規則や仮説の生成のための規則空間と仮説空間、ならびに、それらの規則や仮説の検証に用いられる事例空間と実験空間がそれぞれ対応している。よって、Klahr & Dunbar (1988) により詳細に記述された SDDS モデルの仮説空間における仮説の表現は、規則空間における規則の構造に適用できると考えられる。

彼らは、仮説を“フレーム”の形で表現した。フレームは Minsky (1975) により提案された知識表現の一種である。ある事柄に関するフレームは、その事

柄の持つ属性にあたるスロットとその値からなる。例えば、地球の公転に関する知識をフレームで表すと、周期、軌道、方向などの属性をスロットとして持ち、それぞれのスロットが1年、楕円、西から東という値を持つ。フレームのスロットの種類やスロットの値を変更することにより、様々な仮説を表現することが可能である。Klahr & Dunbar (1988) は、規則発見課題において実験参加者が生成した仮説をフレームで表現し、スロットの値が共通する仮説ほど類似性が高い仮説とした。彼らが生成頻度の高かった仮説を、仮説の類似性に基づきまとめた結果、仮説空間に含まれる仮説は2グループに分けられた(付録 A)。各グループのいずれの仮説も、他のグループの仮説へと変更するには2種類以上のスロットの値を変更する必要があった。そのため、グループ内での仮説の変更のほうが、グループ間での仮説の変更よりも容易に行うことができた。グループをまたいで仮説を変化させることは、仮説の内容を大きく変化させることにつながった。

上記の仮説の表現から、Klahr & Dunbar (1988) は、SDDS モデルで、仮説空間の探索がフレームの決定とスロット値の割り当てからなると定義している(付録 B)。実験参加者は初めに、どのような仮説をたてるか、つまり、いくつかのどのようなスロットを持つフレームを利用するかを決定する。その後、決定されたフレームの各スロットの値を埋めることにより、具体的な仮説を生成する。これらの決定には既存の知識や実験の結果が利用される。規則推論においても、規則の生成は、フレームの決定とスロットの値の割り当てからなるといえる。次ページの図 1.2 に図 1.1(b) の規則空間の探索を、フレームとスロットを用いた表現に書き直した規則推論のプロセスを示す。規則のフレームであるどのような規則を生成するかを決定し、そのフレームで必要とされるスロットの値を決定することにより、具体的な規則を生成する。

規則空間の探索は、どのようなフレームを用いるか、つまり、どのようなタイプの規則を生成するかを決定することから始まる(図 1.2 フレームの決定)。フレームの決定には、実験参加者がそれまでに生成したフレームと規則、観

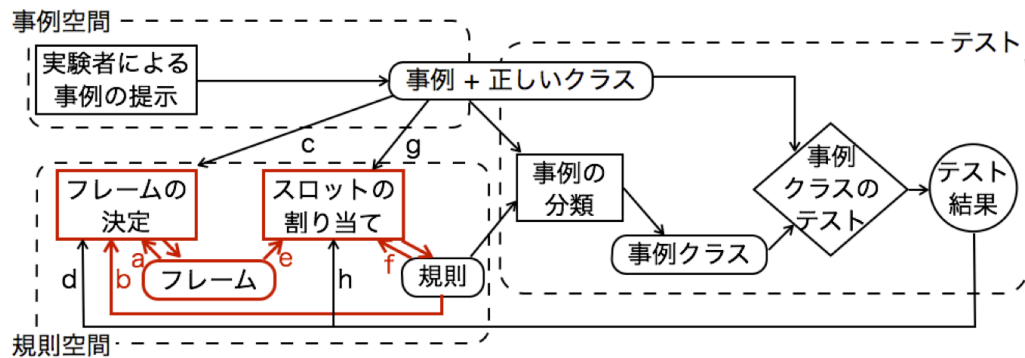


図 1.2 本研究の検討状況における規則推論のプロセスとその情報の流れ、図 1.1(b)との差異を赤で示す。

察した事例とそのクラス、そして、テストの結果が利用される (図 1.2 矢印 a, b, c, d)。フレームが決定されると、続いて、参加者はそのフレームで必要とされているスロットの値を決定することにより具体的な規則を生成する (図 1.2 スロットの割り当て)。スロットの値の決定には、決定したフレームと参加者がそれまでに生成した規則、観察した事例とそのクラス、そして、テストの結果が利用される (図 1.2 矢印 e, f, g, h)。ただし、事例を観察する際は、事例に含まれる全ての情報に注意を向ける必要はない。1つの事例にはしばしば多種多様な情報が含まれており、その中にはスロットの値を決定するためには必要とされない情報も含まれている。規則の生成のためには、参加者は決定したフレームのスロットを埋めるために必要な情報にのみ注意を向ければ十分である。つまり、決定したフレームが、スロットの値を決定するための事例の観察に影響する (図 1.2 矢印 e, g)。そのようにして生成された規則は、実験者により新しく提示された事例とそのクラスを用いてテストされる。

1.3 先行研究

本節では、前説において述べた規則推論のプロセス (図 1.2) との関連を挙げながら、2 タイプの先行研究を紹介する。初めに、参加者の個人差に基づく規則推論の差異を取り上げた先行研究を示す。特に、個人差として多く利用される、作動記憶容量 (Working Memory Capacity: WMC) と規則推論の関連について述べる。続いて、観察する事例の内容により起こる個人内の規則推論の変化に関する先行研究を示す。特に、規則の変更に重要とされている反証および負事例の影響に焦点を当てる。

1.3.1 WMC の影響

作動記憶 (working memory) とは、一時的な情報の保持を行うとともに、情報の処理を行うシステムである (Baddeley, 1986, 2007)。WMC は、認知的な課題における個人差を説明する代表的な変数の 1 つである。単語を作動記憶に保持しながら文章の処理を行う等の、処理と保持を同時に行う課題によりしばしば測定される。

多くの先行研究により、WMC と推論課題の成績の関連性が示されている。順番の推論や言語類推、数字や文字セットの規則性の発見などの単純な推論課題において、WMC が大きい参加者のほうが課題の成績が良いことが明らかにされている (Kane, Hambrick, Tuholski, Wilhelm, Payne, & Engle, 2004; Kyllonen & Christal, 1990; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, & Schulze, 2002)。これらの研究の目的は主に、WMC の得点と複数の単純な推論課題や知能テストの結果の関連を調べることにより、WMC の持つ性質を明らかにすることであった。図 1.2 に示した規則推論のプロセスが終了し、その結果として導かれた規則やその規則を利用した問題への回答の正誤に焦点を当てていた。

さらに、レーヴン漸進的マトリックス (Jarosz & Wiley, 2012) や確率的な規則の推論 (Dougherty & Hunter, 2003) という比較的情報量の多い刺激を用いた

り、推論に時間を要するような課題においても、WMCが大きい参加者は良い成績をおさめることが示されている。これらの研究では、WMCが推論過程にどのような影響を及ぼすかを検討している。例えば、Dougherty & Hunter (2003) は、実験参加者に多くの事例を観察させた後、それらの観察に基づき、互いに背反的である複数の事象のうち、特定の事象が起こる可能性を推定させた。その後、推定対象ではない事象のうち、いくつかの事象について、それが起こる可能性を考えたかを、リストの中から選択させた。すると、WMCが大きい参加者のほうが、より多くの事象を選択した。この結果から、Dougherty & Hunter (2003) は WMC が大きい参加者のほうが、多くの代替仮説を考えていると主張した。図 1.2 の規則推論のプロセスと照らし合わせると、WMC が大きい参加者は規則空間を広く探索してから、つまり、様々なスロットの値やフレームを試してから結論を導いているといえる。

1.3.2 負事例の影響

規則推論において、最初に考えた規則、つまり、初期規則が間違っていることは少なくない。そのような場合、事例に照らし合わせて初期規則を棄却し、正しい規則を考えなおす必要がある。そのような初期規則の棄却には、初期規則を支持しない事例（負事例）が重要な役割を果たす。例えば、Wason の 2-4-6 課題を用いた研究は、自分の持つ規則に反する事例を生成する反証を行い、負事例を得ることが、間違った初期規則の棄却を促し、正しい規則へ導くことを示している (Kareev, Halberstadt, & Shafir, 1993; Klayman & Ha, 1987; Wason, 1960)。

また、科学史において、支配的であった理論が、新しい理論へと移り変わるパラダイムのシフトは、初めの理論に対する負事例の蓄積により起こるとされている (Kuhn, 1962; Thagard, 1992)。例えば、天動説から地動説へのシフトは、金星の満ち欠けのような天動説を支持しない負事例が、太陽が常に東から昇り西に沈むというような天動説を支持する正事例に混ざって出現し始

めたことにより始まった。Thagard (1992) は、負事例が蓄積されることにより、初めの理論に基づく予測と事例の一貫性 (coherence^{*1}) が低下し、より一貫性の高い新しい理論へとシフトするとしている (cf. Markovits & Schmeltzer, 2007)。

また、古い規則を捨てて新しい規則を見つける状況は、素朴概念の変化のような間違った概念を新しい概念へと変化させる状況とも対応する。例えば、Chinn & Brewer (1993) は理論にあわないデータ (anomalous data) に直面した際の7種類の反応を挙げ、それぞれの反応が起こる条件を既有知識、新しい理論、データの特徴、および、処理方略の側面から論じた。また、中島 (1997) は、Chinn & Brewer (1993) と類似した状況において、規則に関するメタ知識が活性化されているほうが、負事例に直面した際、より包括的な規則を考えることを示した。パラダイムや概念の変更は、根本的な理論や考え方を変更するという点で、図1.2の規則推論のプロセスにおける、フレームの変更と対応する。パラダイムや概念の変化に関する研究は、あるフレームを利用して生成される規則群では説明ができない負事例に直面し続け、新しいフレームに気づくことにより、フレームの変更が起こることを示す。

^{*1} 理論に基づき予測されるように事例が分類され、予測されないようには分類されないこと。

1.4 研究法

本節では、初めに、WMCに関する先行研究と負事例に関する先行研究のそれぞれにおいて、まだ解決されていない問題を挙げる。続いて、それらの問題を解決するために本論文の研究において用いられた研究法を示す。

1.4.1 WMC 研究の問題点

多くの先行研究がWMCと規則推論の成績の関連を示してきているが、そのほとんどが規則の発見成績とWMC、または、発見規則に基づく反応の正誤とWMCの相関を示しているのみであった。この関連がどのように生じているかといった、その背後にあるプロセスまで踏み込んだ研究は、特に複雑な規則推論課題においては、ほとんどなされていない。Dougherty & Hunter (2003) は、WMCの差異が実験参加者が生成する代替仮説の数に影響した結果、確率的判断の正確性に差異が生じることを示した。しかし、彼らは課題終了後に事後的なテストを行っており、図1.2のフレームの決定やスロット値の割り当てに相当する、(代替) 仮説の生成中の行動や思考を測定していなかった。また、Jarosz & Wiley (2012) はレーヴン漸進的マトリックスを遂行中の参加者の眼球運動を測定し、WMC得点に反映される注意のコントロール能力の側面が規則推論に影響すると主張した。しかし、彼らは回答の選択肢への注視のみしか分析していなかった。つまり、事例に基づく規則の推論過程ではなく、参加者が回答を選択する過程に焦点を当てていた。以上のように、規則推論において、WMCの差異が、推論のどのような面にどのように影響し、その結果として成績の差異が生じるのかは、まだ、十分に研究がなされていない。

1.4.2 負事例研究の問題点

前節に挙げた先行研究は、パラダイムや概念の変更が起こるためには、負事例の蓄積が必要であることを示していた。しかし、それらの研究は、実験参加者により報告された規則を分析の対象としている。そのため、それらの規則が生成されるまでの過程については明らかにされていない。洞察的な規則発見課題を用いた寺井・三輪・古賀 (2005) では、規則発見者は正しい規則を表明していなくとも、課題画面における正しい規則を発見するために必要とされる側面に注意を向けていることを示した。また、松林・寺井・三輪 (2011) は、自身の持つ説明と整合的でない事実直面したとき、その説明の根拠となっていた事実への注意が減少することを示した。このように、報告された規則では規則のフレームの変更に対応する規則のタイプの変更が起こっていなかったとしても、その生成過程で他のフレームを用いた推論、つまり、タイプの異なる規則の生成が行われている可能性がある。そのため、負事例に直面したとき、規則推論に用いられる規則のフレームがどれほど、そして、どのように変更されるのかを明らかにする必要がある。

1.4.3 本論文における研究法

WMC 研究と負事例研究の問題点は、先行研究の多くが、実験参加者が試行ごと、または、課題の最後に表明する規則を分析の対象としていたために起こっている。報告規則は規則推論のプロセスを通して産出される最終的なアウトプットであり、規則推論のプロセスそのものを検討するためには不十分な指標である。そこで、最終的な規則ではなく、明確な規則が生成される前に決定される規則のフレーム、つまり、参加者がどのような規則を生成しようとしているかに注目する。規則推論、特に本研究で対象とするような事例に基づく規則推論では、明確な規則に到達する前の段階である、規則のフレームを決定後、スロットに値を割り振る段階が大きな割合を占めている。

規則のフレームを決定後に、提示された事例とそのクラスの組み合わせを満たすスロット値を見つける必要があるためである。よって、規則のフレームは、明確な規則に至る前の思考を知る上で、重要な手がかりとなる。

いくつかの先行研究は、どのような規則を生成するかという、規則のフレームと対応する点に焦点を当て、研究を行っている。例えば、Lien & Lin (2011) は、Wason の 2-4-6 課題を用いて、規則発見のパフォーマンスと生成規則の内容の関連を検討している。彼らは、正しい規則を発見した参加者は、反証後に反証前の規則と異なるカテゴリーの規則である “new-perspective hypothesis” を生成していたことを明らかにした。この結果は、規則発見者が規則のフレームの変更と対応する生成規則のタイプの切り換えを積極的に行っていたことを示している。しかし、彼らもまた、試行ごとの報告規則を分析しており、明言可能な規則が生成されるまでの過程については検討していない。

また、Haverty, Koedinger, Klahr, & Alibali (2000) は、規則発見課題を遂行中の発話プロトコル分析を行い、どのような規則を深く考えるかを判断する能力が、規則の発見における重要な要因であると主張した。規則のフレームの決定はどのような規則を考えるかを決定することと対応している。そのため、彼女らの結果はどのようなフレームを用いて規則を生成するかを見極める能力が、規則発見の成績に影響することを示している。このような発話プロトコル分析は、報告規則よりは詳細な過程を明らかにすることが可能である。しかし、まだなお、以下の2点の理由から規則のフレームの変遷を十分に捉えられていない。第1に、意識に上らない思考が取得できないという点である。先に述べたように、フレームの決定は明確な規則を生成する前の段階として行われる。スロットに値が割り当てられる前の不完全な状態は言語で表現することに適しておらず、意識的に捉えにくいことも多い。第2に、情報取得における時間的粒度が粗いことである。通常、思考の速度は発話よりも早く、流暢である。そのため、ごく短い思考は、報告のための発話が追いつかず、省略される可能性が高い。

本論文における研究では，これらの問題点を克服するため，眼球運動データを指標として用いた。眼球運動データを用いれば，参加者の意識の有無に関わらず，常に注意の焦点を取得することが可能である。そのため，規則のフレームの切り替えのタイミングや，言語として現れない短い時間間隔に対応するプロセスを取得することが可能である。近年では，眼球運動データはカテゴリー学習，洞察問題解決などの分野で利用され始めており，注意のシフトや制約，事前知識の影響に関する研究において高い成果を上げている (e.g., Blair, Watson, Walshe, & Maj, 2009; Grant & Spivey, 2003; Knoblich, Ohlsson, & Raney, 2001; Rehder & Hoffman, 2005)。

1.5 本論文の目的と構成

本論文は、観察により得られた事例に基づく規則推論について検討することを目的とする。具体的には、眼球運動を測定することにより、規則の推論に利用される規則のフレームにあたる、生成している規則のタイプの変化を捉える。第2章で、WMCと規則推論の関連を調べた研究について、第3章で、負事例に直面した際の規則のフレームの変更に関する研究について述べる。なお、両研究で用いられた課題は次節にて説明する。

第2章のWMCに関する研究では、WMCが規則推論におけるいずれのプロセスにどのように影響するのか、以下の3点の検討を行った。第1の目的として、先行研究で示された、WMCと規則発見の成績の関係の追試を行った。第2の目的は、WMCが事例の観察方略にどのような影響を及ぼすかを検討することであった。特に、参加者が複数の事例を比較する頻度に、WMCの大小により差異が生じるかを調べた。第3の目的は、WMCが各フレームを用いた規則推論の継続時間に影響を及ぼすかを検討することであった。WMC得点を測定し、得点の高い参加者と低い参加者に規則推論課題を行わせ、その最中の眼球運動データと事例の観察方略を比較した。

続く第3章の負事例に関する研究では、負事例に直面することにより生じる、推論に用いられる規則のフレームの変化についての検討を行った。具体的には、負事例に直面した後、正事例と負事例が混在する期間において、規則のフレームにあたる生成している規則のタイプが変更されるかを調べることを目的とした。参加者が負事例に直面する前後、および、負事例に直面した後の正事例と負事例における眼球運動データの比較を行った。

これらの研究について述べた後、図1.2に示した規則推論のプロセスに基づき、規則推論の各プロセスについて考察を行う。

1.6 規則推論課題

1.6.1 推論課題の流れ

実験には，実験者により提示される事例に基づく規則推論課題が使用された。図 1.3 は課題における事例を示している。図 1.3(a) に示される通り，事例は，数字，矢印，方位の描かれた 3 種類のパネルと，中央に配置された a から h の 8 つのアルファベットからなっている。アルファベットは a を時計の 12 時の位置とし，45 度ずつ円状に配置されている。実際に課題中に表示される画面のスクリーンショットは図 1.3(b) であり，この画面が課題中のある 1 事例に相当する。提示される事例には 3 種類のパネルと 8 つのうち 1 つのアルファベットが表示されている (以降，ターゲットと呼ぶ)。

図 1.4 に課題の概要を示す。実験者は，1 問の規則発見課題につき，表示されるパネルの内容とターゲットの間に一定の規則性が成立するように設定した

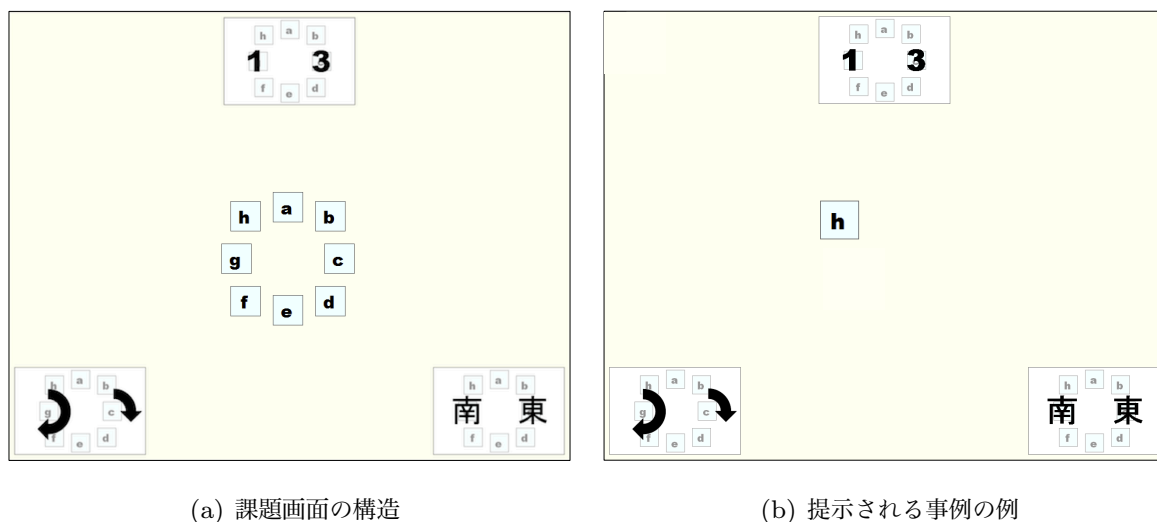


図 1.3 実験課題の画面例。上部に数字パネル，右下部に方位パネル，左下部に矢印パネルが表示されている。(a) 課題画面の構造。3 種類のパネルと円形に配置された a から h のアルファベットからなる。(b) 提示される事例の例。3 種類のパネルと 1 つのアルファベットからなる。

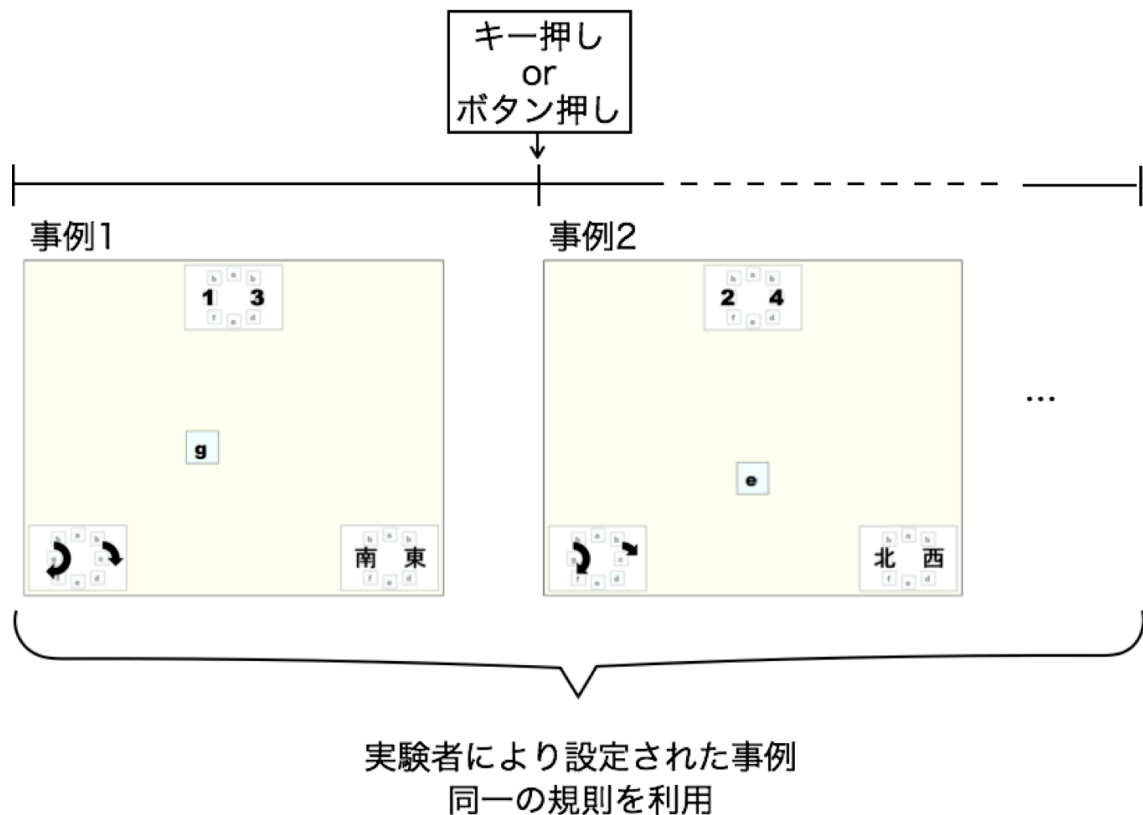


図 1.4 課題の流れ。本論文における実験で用いられた課題の 1 問の流れの例。1 問で提示される事例には全て同一の規則が成立する。提示される事例数や観察時間等は実験により異なる。

複数の事例を用意する。実験参加者はこれら複数の事例を観察し、実験者の設定したパネルとターゲットの間の規則性 (規則) を発見することが求められる。実際にターゲットとの間に規則が成立しているパネルは 3 種類のうちいずれか 1 つのパネルであり、他の 2 種類のパネルの内容は、ターゲットの決定には影響しない情報である。例えば、数字パネルの内容とターゲットの間に規則が成り立っている場合、他の矢印と方位パネルの内容はターゲットとは関係なく無作為に決定されている。

実験参加者は、始めに課題の進め方を教示され、練習を行う。その際、3 種類のうちいずれか 2 種類のパネルはターゲットに関連しないことを教示される。課題の流れを図 1.4 に示す。参加者は、キー押しまたはボタン押し行動により事例を切り替え、事例を 1 つずつ観察する。彼らは、実験者により設定さ

れた数の事例を観察し、それらの事例に一貫する規則を見つけることを目標とする。参加者の規則報告の方法は実験により異なるため、各実験の手続にて説明する。また、参加者が1つの事例を観察できる時間や回数、そして、用意される事例の数も実験により異なる。

3種類のパネルには、それぞれ異なる規則への利用法が定められている。数字パネルには、1から4の数字のうち、2つの数字が表示される。数字は、1がa, 2がbというように、アルファベットの“順番”として利用される。具体的な規則として、表示される両数字を足した数の順番のアルファベットがターゲットとなるという例が挙げられる (e.g., 1と3であればdがターゲット)。矢印パネルには、45, 90, 135, 180度の円状の矢印のうち、2つの矢印が表示される。矢印は、任意の起点から特定のアルファベットまでの“移動”角度として利用される。例えば、aを起点とするなら、45度の矢印はbを、90度の矢印はcを示す。具体的な規則として、aから右の矢印の角度だけ時計回りに移動し、そこから左の矢印の角度だけ反時計回りに移動した先のアルファベットがターゲットとなるという例が挙げられる (e.g., 右が90度で左が180度であればgがターゲット)。方位パネルには、東西南北の方位のうち、2つの方位が表示される。方位は、地図上で各方位が示す方角の“位置”として利用される。つまり、北は上にあるa, 南は下にあるeを示す。具体的な規則として、表示される両方位を組み合わせた方位により示される位置のアルファベットがターゲットとなるという例が挙げられる (e.g., 南と東であればdがターゲット)。参加者は、課題開始前に各パネルの刺激の利用法の練習を行い、利用法を獲得する (付録 C)。また、参加者の規則の推論を助けるため、各パネルの背景にアルファベットの配置が表示されている。

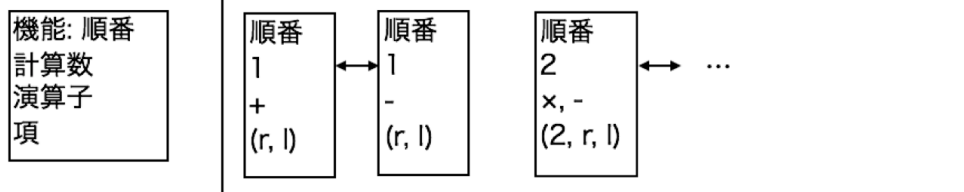
1.6.2 推論課題における規則空間

図 1.5 は、Klahr & Dunbar (1988) に則り、本課題における規則空間の構造をフレーム表現を用いて表している。全ての規則を挙げることは不可能である

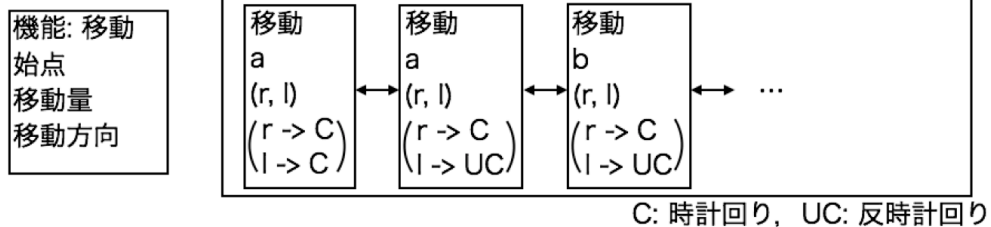
ため、課題で生成可能な規則の一部を代表例として示す。図1.5の左部に描かれた3つの四角が各パネルを利用して生成される規則の基本フレームであり、各フレームに含まれるスロットが示されている。各パネルを利用して生成される規則の基本フレームは異なる数や名前のスロットを必要とするが、第1のスロットに共通して、機能スロットを持つ。機能スロットの値には、先に挙げた各パネルの利用法の3種類(順番, 移動, 位置)のうち1つが割り当てられる。割り当てられた機能スロットの値により、他のスロットが決定される。

具体的な例を挙げると、ある実験参加者が、移動の機能を持った矢印パネルを利用して規則を考えようと決めたとする。これは、機能スロットに“移動”が割り当てられたフレームを利用することを決定したことを意味する。次に、その参加者は、具体的な規則を生成するために、どこから、どれくらい、どの方向へ移動するかを決定する。つまり、機能スロットに移動が割り

機能：順番（数字）



機能：移動（矢印）



機能：位置（方位）

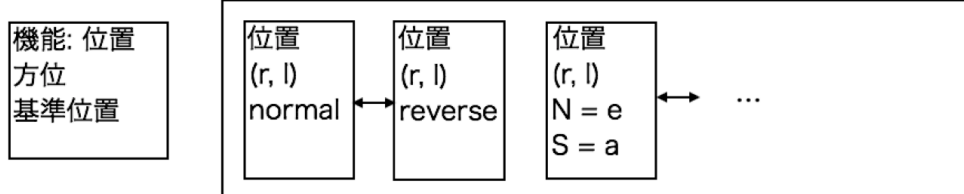


図 1.5 課題における規則空間の構造。スロットの r はパネル上の右の刺激, l は左の刺激を指す。

当てられた場合に必要とされる，始点，移動量，移動方向という他の3種類のスロットの値を決定する。同様に，数字パネルを利用して規則を生成する場合は，機能スロットに順番が割り当てられたフレームを利用し，数字をどのように計算するかを決定するために，計算数，演算子，項スロットの値を決定する必要がある。また，方位パネルを利用する場合は，機能スロットに位置が割り当てられたフレームを利用し，東西南北の方向をどのようにアルファベットと対応させるかを決定するために，方位と基準位置のスロットの値を決定する必要がある。

図1.5の右部の3つの大きな四角の内部に示される各小さな四角は，スロット値が割り当てられた具体的な規則を表現している。例えば，順番の機能を持つフレームを用いた規則の一番左であれば，数字パネル上の右の刺激と左の刺激を足した数の順番のアルファベットがターゲットとなる，という規則を表現している。図1.5中の規則で，値の異なるスロットが1つのみである規則間を矢印でつないでいる。規則の機能スロットの値を変更すると，必要とされるスロットが変更されるため，機能スロットの値が異なる規則同士は規則の類似性が低く別個のグループへと分類される。規則間のつながりからも，異なるグループに含まれる規則は，矢印でつながれることがないことがわかる。ただし，図1.5では規則の代表例のみを示しているため，同じグループ内でも矢印でつながれていない場合もある。以上の構造から，本推論課題における規則空間は，機能スロットの値によって，異なるフレームタイプを持つ3群の規則群にわけられる。よって，どのパネルと対応する機能を利用して規則を生成するかを決定することが，どのような規則を生成するかを規定する。つまり，規則に利用する機能を決定することが規則のフレームの決定につながる。

さらに，本推論課題では，実験参加者に全ての機能を学習させた後に，規則推論を始めさせた。そのため，参加者は規則が3種類のいずれかの機能を持つことを理解していた。Klahr & Dunbar (1988)の実験参加者は，異なるタ

IPのフレームの存在を，自身で発見する必要があった。対して，本推論課題では，実験参加者は規則を生成するために，どの機能を持ったフレームを用いるかを選択することが求められた。つまり，参加者がフレームのタイプを切り替える場合，Klahr & Dunbar (1988) では新しいフレームのタイプを発見する必要があったが，本研究では既知の異なるフレームタイプに切り替えるだけであるという違いが存在する。

1.6.3 指標

実験参加者は規則のフレームを決めた後，そのフレームに含まれるスロットの値を埋めるために必要とされる情報のみを事例から取得する。例えば，順番の機能を持つフレームを選択した参加者は，そのフレームのスロットである，計算数，演算子，項の値を決定するために必要とされる数字パネル上に表示される刺激へのみ注意を向ける。よって，参加者が選択した機能と，彼らが注視しているパネルは対応しているといえる。そこで，本研究では参加者が各パネルを注視した時間を，パネルと対応する各機能を用いて規則を

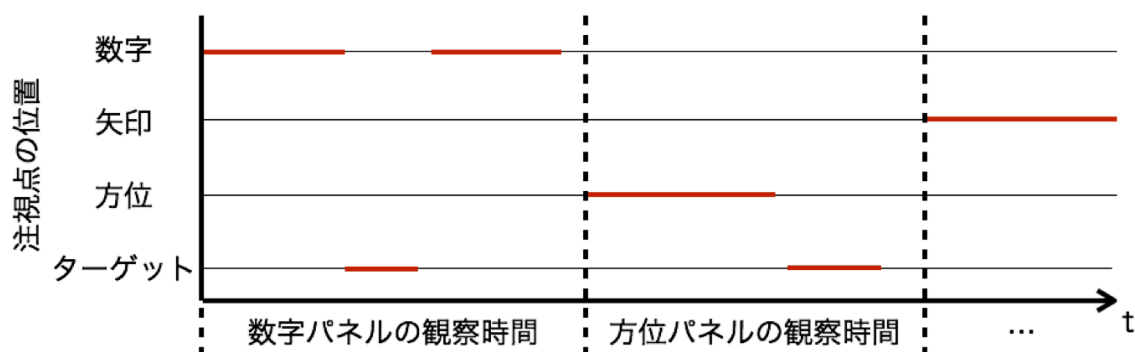


図 1.6 課題における観察時間。実験に使用された課題での注視点の変遷の仮想的な例を用いて，本論文において定義された観察時間を示す。縦軸に課題画面において主に注視点が見られた部分を，横軸に時間を示す。各時点で注視点が見られた部分を赤線で示す。例の始めでは，数字パネル上に注視点が見られたことが示されている。いずれの部分にも赤線が存在しない時点では，縦軸で示される部分以外に注視点が見られたことを示す。あるパネルに注視点が見られてから，異なるパネルに初めて注視点が見られるまでの時間をそのパネルの観察時間とした。

推論していた時間として利用する。本課題における規則の持つ機能は規則のフレームのタイプを規定するため、この時間は同時に規則の推論に各フレームを用いていた時間であるといえる。本研究における各パネルを注視した時間は、各パネルへの注視の停留時間ではなく、図 1.6 に示したように、ある特定のパネルに停留が起こった時点から、別のパネルへの停留が起こった時点までの時間と定義する。以降では、この時間を各パネルの観察時間と呼ぶ。観察時間には、パネルの存在しない空間やターゲットに注視点が存在した時間も含む。これは、参加者が規則を生成するためには、パネルの内容と表示されているターゲットを見比べて、その関係性を考える必要があるためである。あるパネルを観察し、ターゲットを観察した場合は、そのパネルの内容に基づいて行われた思考の確認のためにターゲットを観察したと考え、そのパネルの観察が続いていると定義する。

第2章

作動記憶容量が規則推論に与える影響に関する検討

第2章では、規則推論へのWMCの影響について検討を行った研究1について述べる。特に、実験参加者が規則のフレームと対応する各機能を持つ規則の生成を継続する時間、そして、参加者の事例の観察方略のそれぞれへのWMCの影響に焦点を当てている。本章では、始めに、WMC得点に反映される2種類の能力について説明を行う。続いて、そのうち一方の能力と事例の観察方略の関連を述べ、WMCの大小が事例の比較の頻度に影響するという仮説を挙げる。さらに、もう一方の能力と参加者が生成している規則の持つ機能の関連を述べ、WMCが大きい参加者のほうが同じ機能を持った規則を生成し続ける時間が長いという仮説を挙げる。その後、それらの仮説を検証するために行った実験とその結果を説明する。実験では、WMCの異なる2群に規則推論課題を遂行させ、その過程を比較した。最後に、実験の結果から、WMCの規則推論への影響について考察を行う。

2.1 情報の保持と注意のコントロール

初めに、WMC得点に反映される能力について説明する。Kane, Bleckley, Conway, & Engle (2001) が作動記憶の役割として挙げた、情報の保持 (storage) と注意のコントロール (controlled attention) に注目した (cf. Jarosz & Wiley,

2012; Kane & Engle, 2003; Oberauer, Lange, & Engle, 2004)。彼らは、これら2種類の能力がWMC得点に反映されているとした。まず、情報の保持については、その保持量の差異がWMC得点に反映される。情報の保持量は、短期的に保持可能な情報量や、1つの処理で利用可能な情報の量を指す。WMCが大きいほど、より多くの情報を保持することが可能であり、処理に利用可能な情報も多くなる。

注意のコントロール能力は、持続的注意 (sustained attention)、つまり、注意を任意の対象に維持する能力を指す。WMCが大きいほど、課題の目標へ注意を持続的に維持する能力が高い。そのため、WMCが大きい参加者は目標を達成したり、刺激へ素早く反応したりすることができる。一方、WMCが小さい参加者は、目標へ注意が維持できず、妨害刺激に注意を奪われるため、目標の達成に失敗したり、刺激への反応に遅れが生じたりする。例えば、McVay & Kane (2009) は go/no-go 課題の一種である SART (Sustained Attention to Response Task) を用いて、WMC と注意の維持力の関連を検証した。go/no-go 課題とは、特定の状況で行動を起こし、特定の状況では行動を抑制するという課題である。SART では、参加者はごくまれに提示されるターゲット刺激にのみ反応しない (行動を抑制する) ことを求められた。彼らの実験では、WMC が大きい参加者のほうが、より後の試行まで正確な反応を維持できた。つまり、WMC が大きい参加者は、WMC が小さい参加者よりも長く、行動を抑制するという目標へ注意を維持できたことが示された。これら2種類の能力、および、規則発見成績に関連し、以下で、本研究で検討を行う仮説を挙げる。

2.2 仮説

第1に、多くの先行研究で示された通り、本研究の規則推論課題においても、WMCが大きい参加者のほうが良い成績をおさめる、つまり、より確実に規則の発見に至ると考えられる。事例に基づいて規則を推論するためには、観察した事例の保持と、変数の変換や計算といった事例を利用した処理を同時に行う必要があるためである。これらは、作動記憶の持つ、情報の保持と処理という2種類の機能と対応している。

さらに、WMCが規則推論のいずれのプロセスにどのように影響するかを、WMC得点に反映される情報の保持量と注意のコントロール能力の側面から検討する。情報の保持量と注意のコントロール能力の関係は明確とされていないが、情報の記憶を必要としない注意課題でもWMCの影響が示されたことから (Kane et al., 2001)、注意のコントロール能力は情報の保持量とは独立した能力であると考えられる。事例の観察方略に関しては情報の保持量が、規則の機能の決定に関しては注意のコントロール能力が影響するとし、先行研究から得られた知見を基に、次の独立する2種類の仮説をたてた。

2.2.1 事例の観察方略

規則性の発見は複数の事例を比較し、その共通点や相違点を見つけることにより達成されるとされている (Christou & Papageorgiou, 2007; Dixon & Bangert, 2004; Klauer, 1996)。事例の比較のためには、先に観察した事例を、比較の対象として作動記憶上に保持しておく必要がある。WMCが大きければ、保持できる情報量が多いため、先に観察した事例をより多く、また、正確に保持することができる。これにより、事例の比較を容易に行うことができ、事例の比較を頻繁に行うようになると考えられる。しかし、WMCが小さい参加者は、保持可能な情報量が少ないため、多くの事例を保持することができない。そのため、比較の対象となる事例が保持できず、事例の比較を行う

ことが困難である。この困難により、1事例の観察に基づき規則性の手が見つけざるを得なくなると考えられる。まとめると、情報の保持量の観点からは、WMCが大きい参加者は事例の比較を行う方略をとり、WMCが小さい参加者は1事例を観察し規則を見つけようとするだろうという仮説が導かれる。つまり、WMCの大きい参加者のほうが、WMCの小さい参加者に比べ、事例の比較を頻繁に行うだろう。

2.2.2 規則の機能の決定

実験参加者がどのような機能を持つ規則を生成するかに関しては、WMC得点に反映される注意の維持力と関連すると考えられる。適切な規則を見つけるためには、フレームの各スロットに様々な値の割り当てを行う必要がある。つまり、刺激の変換や計算を繰り返し行い、同じ機能を持つ様々な規則を考え出す必要がある。そのような刺激の変換や計算を行う際は、規則の持つ機能を変更せず、同じ機能を用い続けることが求められる。機能を変更することにより、スロットの種類、つまり、規則に必要とされる情報が変更され、刺激の変換や計算の方法が変化してしまうためである。さらに、機能の変更による規則のフレーム、つまり、生成する規則のタイプの変更には、認知処理の資源が必要とされる。規則の機能を過剰に変更することは、大きな認知負荷を課すこととなる。以上のことから、規則を見つけるためには、各機能を持つ規則の生成にそれぞれ十分な時間をかけ、順番に推論を行っていくことが適していると考えられる。Haverty et al. (2000) は、規則の発見にはどのような規則を生成すべきかを決定し、そのタイプの規則の生成に十分に資源を割くことが重要であるとしている。

上記の通り、規則推論においては、各機能を持つ規則の生成にそれぞれ注意を集中することが重要である。多くの先行研究は、WMCが大きい参加者は注意の維持力が高く、同時に提示されている他の情報からの妨害に抵抗し、任意の目標や対象へと持続的に注意を向け続けることができることを示

している (Jarosz & Wiley, 2012; Kane et al., 2001; Kane & Engle, 2003; McVay & Kane, 2009)。この知見より、WMC が大きい参加者は規則推論においても、ある機能を持つ規則の生成へ注意を集中させ続けることが可能であると考えられる。一方、WMC の小さい参加者は注意の維持力が低いため、ある機能を持つ規則の生成中に他の機能に注意を奪われ、十分な推論を行う前に注意を移行してしまうと考えられる。まとめると、注意のコントロール能力の違いから、WMC が大きい参加者はある機能を持つ規則の生成に集中し続けることができるが、WMC が小さい参加者は、WMC が大きい参加者に比べ集中が続かないだろうという仮説が導かれる。つまり、WMC が大きい参加者のほうが、WMC の小さい参加者より、同じ機能を持つ規則の生成を長く続けるだろう。

以上の通り、本研究では、規則推論の成績と WMC の関連、および、WMC の規則推論のプロセスへの影響について検討を行うため、先述の事例の観察方略と各機能を用いた推論の継続時間に関する仮説に WMC と規則発見成績の仮説を加え、以下の 3 つの仮説の検討を行う：WMC が大きい参加者は WMC が小さい参加者より、(1) 規則発見の成績が良い、(2) 事例の比較を頻繁に行う、(3) 同じ機能を持つ規則の生成を長く続ける。以上の仮説に対応する実験結果の予測は後ほど説明する。WMC と規則発見の成績の関係に関する第 1 の仮説は、先行研究の追試に位置づけられる。第 2、第 3 の仮説は、WMC と情報の保持量、および注意のコントロール能力の関連に関する先行研究において示された知見から導かれた。事例に基づく規則推論において、事例の比較を行うこと、ならびにある機能を持つ規則の生成に集中することは、規則の発見に至るための重要な要素である。そのため、第 2、第 3 の仮説のそれぞれが支持されるかを検証し、これらの規則推論の要素に WMC がどのような影響を与えるかを検討することは、規則推論における個人差がどのように生じるかを明らかにするために重要である。さらに、これらの仮説を検討することは、仮説を導いた知見が、先行研究と比較して複雑な規則推論へと適用

可能であることを明らかにする。

2.3 スクリーニングテスト

実験に先立って、実験参加者の選定のため、WMCの測定を行った。先行研究においては、主にリーディングスパン、空間スパン、オペレーションスパンの測定が行われていた (Kane et al., 2004; Kyllonen & Christal, 1990; Süß et al., 2002; Jarosz & Wiley, 2012; Dougherty & Hunter, 2003)。本研究に用いられる規則推論課題は提示された図形を保持するとともに、心的に図形を操作して、ターゲットを同定する必要があった。そのため、そのような視覚、空間的な情報の保持や操作に関連する空間スパンテスト (Shah & Miyake, 1996) を用い、その得点を実験参加者のスクリーニングに用いた (付録D)。テストはコンピュータを用いて実施された。画面には注視点が0.5秒表示された後、中央に正立を0度とし、45度刻みに、正立以外の7種類の角度のいずれかの通常文字 (表文字)、または、鏡文字 (裏文字) が提示された。参加者は、文字の裏表を可能な限り素早く判断し、表文字の場合はjキーを、裏文字の場合はfキーを押下することを求められた。数回の判断を繰り返すと、画面上には各角度に対応する8つのボタンが表示された。参加者は、提示された文字の方向を、提示された順に思い出し、対応するボタンを押すことを求められた。提示される文字数が2文字から6文字までのセットが、それぞれ2セットずつ、全10セットが用意された。提示される文字にはF, J, L, P, Rが無作為に割り当てられた。

名古屋大学の学部生57名がテストに参加した。テストは6名以下の小グループで行われた。参加者は、コンピュータの前に個別に座り、課題の説明を受けた。文字の表裏の判断、方向の記憶、本番と同様の課題の練習を行った後、テストが実施された。セットの提示順はランダムに決定された。

採点に先立ち、文字の表裏判断課題において、正答率が7割以下であった参加者を除外した。52名の参加者の空間スパンテストの得点が計算された。採点はConway, Kane, Bunting, Hambrick, Wilhelm, & Engle (2005) による

partial-credit unit 採点法に基づき行われた。参加者の選択した方向とその順番がともに正しかった場合を正答とし、各セットにおける正答の割合を算出した。例えば、5文字のセットにおいて3文字の方向と順番が正答であった場合、そのセットの得点は $3/5$ である0.6点となる。全セットの得点の平均を各参加者の空間スパンテストの得点とした。平均得点は0.575、標準偏差は0.200であった。また、最高得点は0.920、最低得点は0.121であった。

2.4 実験

2.4.1 方法

要因配置計画

参加者間の 1 要因 2 水準 (WMC high, low) 計画の実験を実施した。

参加者

空間スパンテストの得点の上位, 下位 25% の参加者, 全 24 名を実験に集めた。Conway et al. (2005) によると, 2 種類以上の WMC 得点に基づいて群分けを行うことが推奨されているが, 本研究では空間スパンテストの得点のみに基づき群分けを行った。以下の点から WMC high 群と low 群の差異は十分に保証されると考えられる。第 1 に, 複数の WMC 課題の得点は相関することが示されている。第 2 に, Conway et al. (2005) は, 上位, 下位 25% の参加者を用いることにより, 中央値による群分けよりも, 複数の課題間の群分けの不整合を極めて少なくすることが可能であることを示している。

空間スパンテストの得点の上位 12 名 (WMC high 群; $M = 19.916$, 男性 5 名, 女性 7 名), 下位 12 名 (WMC low 群; $M = 19.583$, 男性 3 名, 女性 9 名) が実験に参加した。WMC high 群の 1 名 (理学部) を除き, 文系学生であった。WMC high 群の空間スパンテストの平均得点は 0.825 ($SD = 0.068$), WMC low 群の平均得点は 0.290 ($SD = 0.091$) であった。2 群の得点には有意な差が認められた ($t(22) = 16.318, p < .001, d = 6.662$)。なお, 空間スパンテストの得点の採点に, 全試行を通じて正しく再生できた項目数の合計を利用して全く同様の参加者が選出された (WMC high 54.333 vs. low 18.083; $t(22) = 16.168, p < .001, d = 6.601$)。

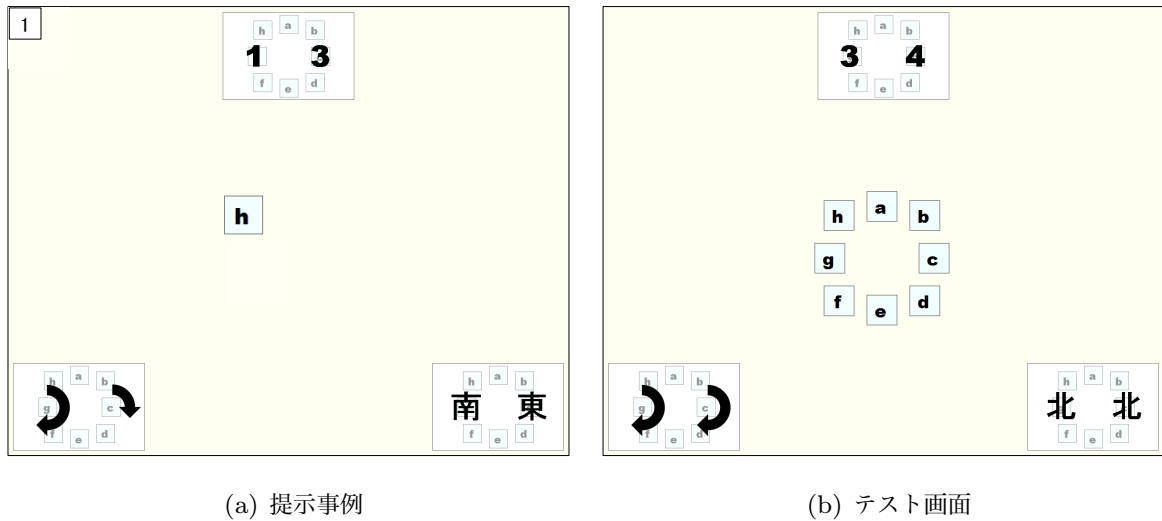
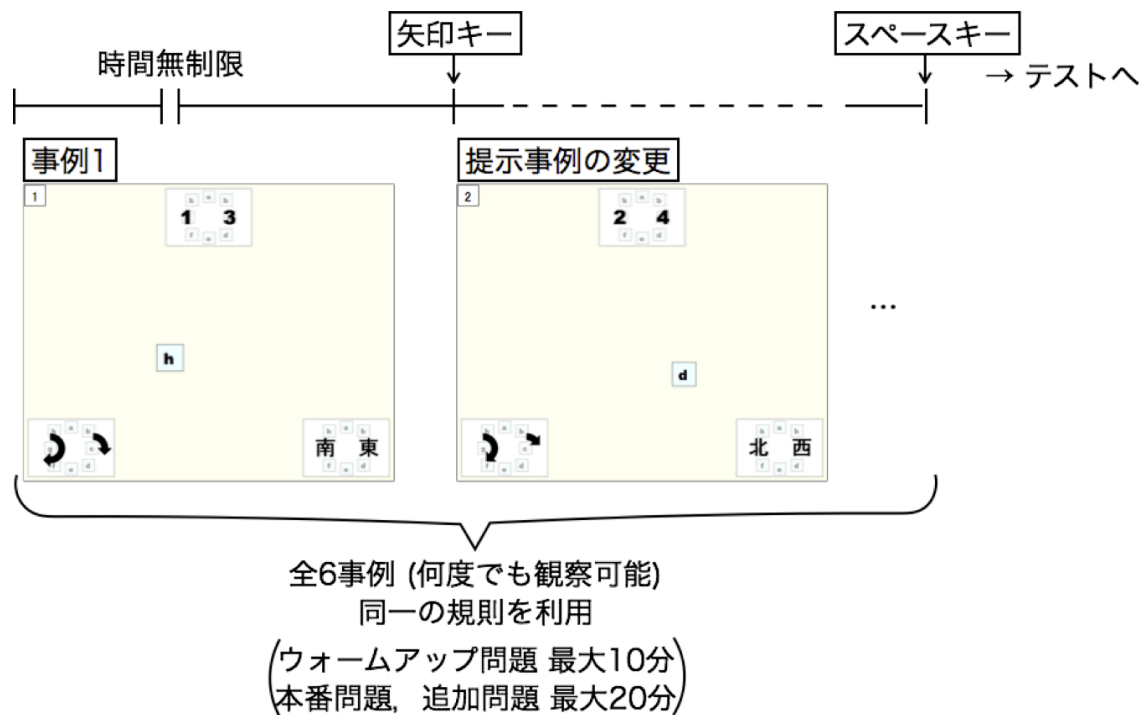


図 2.1 研究 1 に用いられた課題画面のスクリーンショット。(a) 規則推論のために提示された事例の画面（ウォームアップ問題より）。3 種類のパネルと 1 つのターゲットからなる。左上には事例の番号が表示されている。(b) テスト時に表示された課題画面。3 種類のパネルと 8 つのアルファベットからなる。

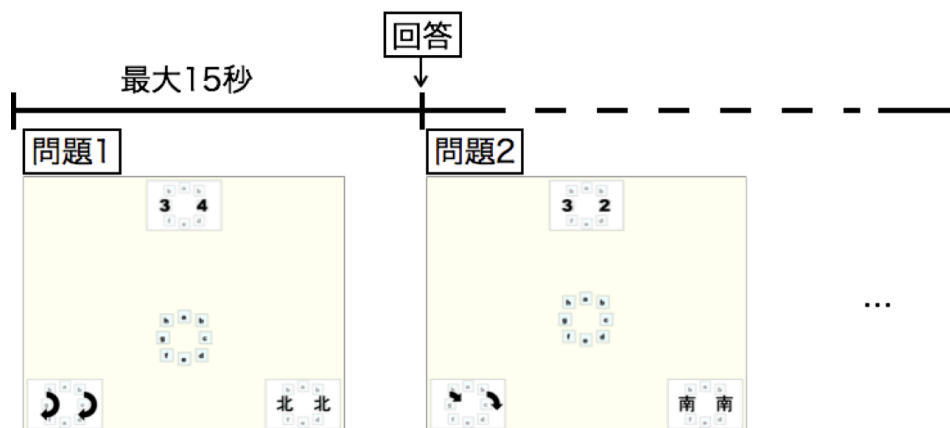
課題と手続

課題は第 1 章において説明した規則推論課題を用いた。実験参加者に提示される事例の例を図 2.1(a) に示す。事例は数字、矢印、方位の描かれた 3 種類のパネルと、ターゲットである 1 つのアルファベットからなる。実験者は実験前に、問題ごとに後述する規則を満たす事例を 6 種類ずつ準備した。参加者は各問題で実験者の準備した 6 種類の実例を提示され、パネルとターゲットの間に存在する規則を見つけることを目標とした。実験は、最大 3 問の規則推論課題からなり、1 名ずつ個別に実施された。

課題開始前に、課題の内容、操作、および各パネルにおける規則の考え方が実験者により教示され、その後、実験参加者は十分な練習を行った。なお、ターゲットは、単一のパネルに基づき決定されていることが教示に含まれた。図 2.2 に示した通り、以下の手続で規則発見課題の各問題が実施された。問題が始まると、自動的に初めの実例がモニタに表示された。参加者は、他の事例を観察したいと望む時に、キーボードの左右の矢印キーを押下するこ



(a) 規則推論中の流れ



(b) テストの流れ

図 2.2 研究 1 における実験の流れ. (a) 課題中の事例の観察の流れ. 提示事例は図 2.1(a) を参照. (b) 規則報告後のテストの流れ. テスト画面は図 2.1(b) を参照.

とにより、表示される事例を切り替えることが可能であった。例えば、6 種類の事例をそれぞれ事例 1 から事例 6 とすると、初めに事例 1 が表示された。事例 1 が表示された状態で、右矢印キーを押下すると次の事例である事例 2 が表示された。事例 2 が表示された状態で、左矢印キーを押下すると前の事例

である事例1が表示された。事例1と事例6の間も矢印キーの押下により表示の切り替えが可能であった。このように、参加者は、定められた時間内に左右の矢印キーを押下することにより、自由に6種類の事例を表示することができた。1事例の表示時間は設定されておらず、参加者は望むだけ同じ事例を表示し続けることができた。また、同じ事例を何度でも表示することが可能であった。事例の内容と順番は全ての参加者で共通であった。

実験参加者は規則を発見したタイミングでスペースキーを押下し、口頭で規則を報告した。報告された規則が、実験者により設定された規則と一致しているかのフィードバックは与えられなかった。規則の報告後に、確認のためのターゲット予測テストが実施された。図2.1(b)はテスト時に表示される課題画面である。テスト画面には、8種類すべてのアルファベットと、事例の観察中に提示される6種類の事例には含まれない組み合わせの刺激が表示されたパネルが提示された。参加者は、各パネルの刺激がテスト画面に表示されたものである場合に、自身が報告した規則に基づくどのアルファベットがターゲットとなるはずであるかを、口頭で報告するよう求められた。報告されたアルファベットが、実験者により設定された規則に基づいてターゲットに設定されるアルファベットと一致するかのフィードバックは与えられなかった。同様のテストが全5問行われた。参加者による報告規則が実験者により設定された規則と一致し、さらに、5問のテスト全てにおいて報告されたアルファベットが、実験者の設定した規則によりターゲットに設定されるアルファベットと一致していた場合のみ、その参加者は規則を発見したとした。参加者が規則を発見したと判断された場合、実験者は参加者に報告した規則が正しいことを告げ、問題を終了した。参加者が規則を発見したと判断されなかった場合、実験者は参加者にもう一度よく考えるように告げ、参加者はスペースキーを押下する前の状態から問題を継続して行った。各問題に設定された制限時間以内に、参加者が規則を発見したと判断されなかった場合、実験者はそこで問題を打ち切り、設定された規則を参加者に教えた。

設定された規則が異なる，ウォームアップ問題，本番問題，追加問題の3問の規則推論課題が用意された。初めに，ウォームアップ問題が実施された。ウォームアップ問題はウォームアップをかねており，実験参加者は比較的発見が容易な規則を用いた規則推論課題を最大10分間行った。ウォームアップ問題には，方位パネル上の2種類の方位を組み合わせて示された位置の，反対側に位置するアルファベットがターゲットとなるという規則が用いられた。例えば，図2.1(a)のように，方位パネルに南と東が表示されている場合，2種類の方位を組み合わせた南東の反対側である北西に位置するhがターゲットとなる。

続いて，本番問題が行われた。本番問題はウォームアップ問題よりも，発見が困難な規則を用い，最大20分間実施された。矢印パネル上の2種類の矢印の角度を合計した角度分，dから時計回りに移動した先のアルファベットがターゲットとなるという規則が使用された。例えば，図2.1(a)のように矢印パネルに180度と90度の矢印が表示されている場合，2種類の矢印の角度の合計は270度となる。よって，dから270度時計回りに移動したbがターゲットとなる。

本番問題において素早く規則を発見したため，十分な長さのデータが取得できなかった参加者は，さらに追加問題を20分間行った。十分な長さのデータを取得するため，発見が極めて困難な規則を用いた。追加問題におけるターゲットは，数字パネル上の2種類の数字のうちの大きい数字と，2種類の数字の差を足した数に対応する順番のアルファベットがターゲットとなるという規則に基づき決定された。例えば，図2.1(a)のように数字パネルに1と3が表示されている場合，大きいほうの数字である3に，2つの数字の差である2を足した5番目のアルファベットであるeがターゲットとなる。全ての問題において，眼球運動測定のため，各問題の開始前と，問題中の5分ごとにキャリブレーションが行われた。

装置

眼球運動は、17インチのディスプレイ一体型アイトラッカー Tobii T60 を用い、60 Hz で取得された。画面と参加者間の距離は約 60 cm に設定した。課題画面における各パネルの大きさは $7.57^{\circ} \times 5.05^{\circ}$ (79 mm \times 53 mm)、パネル間の距離は約 23.54° (250 mm) に設定した。パネル内の刺激はそれぞれパネルの半分にあたる $3.79^{\circ} \times 5.05^{\circ}$ (39.5 mm \times 53 mm) の枠内の中心に2つの刺激の間に十分な距離が生じるサイズで表示された。注視点が半径 35 ピクセル（画面上の約 9 mm に対応、視角 0.86° ）の円内に 100 msec 以上とどまった場合を停留と定義した。実験の制御は Windows PC (DELL 社製, precision T3400) によってなされ、課題は Visual Basic 2008 によって作成された。

2.4.2 予測

実験の結果を示す前に、本章の第2節で挙げた研究1の仮説に基づき、実験参加者の事例の観察方略と各機能を持つ規則の生成を継続する時間について、どのような実験結果が得られるかの予測を行う。始めに規則の発見成績に関しては、WMC が大きい参加者のほうが、WMC が小さい参加者よりも規則の発見に成功していた場合に、WMC が大きい参加者は WMC が小さい参加者より規則発見の成績が良いという、第1の仮説が支持される。

事例の観察方略については、事例の比較の頻度を示す指標として事例の切り換え回数を用いる。本研究の規則推論課題の課題画面は各パネル上の刺激とターゲットという多くの刺激から構成されている。よって、複数の事例を完全に保持しつつ、内的に操作を行うことは認知資源の不足を招く。そのため、事例を頻繁に比較する方略をとる参加者は、その共通点や相違点を見つけるために、2種類以上の事例の観察を行うと考えられる。つまり、事例の比較を行う参加者ほど、事例の切り換え回数が増加する。一方、1つの事例の観察を行う方略をとる参加者は、主に規則が生成されたときの確認のために

事例の切り換えを行うため、事例の切り換え回数は少なくなる。以上のことから、WMCが大きい参加者はWMCが小さい参加者より、事例の比較を頻繁に行うという第2の仮説が支持される場合、WMCが大きい参加者のほうが、WMCが小さい参加者よりも、事例の切り換え回数が多くなるだろう。

各機能を持つ規則の生成を継続する時間については、第1章で説明したパネルの観察時間を用いる。特定の機能を持った規則の生成を続ける実験参加者ほど、そのフレームに対応するパネルの観察時間は長くなる。よって、WMCが大きい参加者のほうが、WMCの小さい参加者よりも、1回あたりのパネルの観察時間が長くなった場合に、WMCが大きい参加者はWMCが小さい参加者より同じ機能を持つ規則の生成を長く続けるという、第3の仮説が支持される。

さらに、事例の比較に関しては、同じ機能を持つ規則を生成している期間での事例の切り換え回数も指標として使用する。実験参加者は、具体的な規則の生成にあたるスロット値の割り当てを、フレームが決定された状態、つまり、規則の機能を決定した状態で行う。そこで、ある機能を持つ規則の生成期間における事例の比較に対応する、同じパネルを観察しながらの事例の切り換え回数を、事例比較の第2の指標として用いる。WMCが大きい参加者のほうが、頻繁に事例を比較する方略をとるという第2の仮説は、WMCの大きい参加者のほうがWMCが小さい参加者より切り換え回数が多かった場合に支持される。

2.4.3 結果

始めに、各群における規則発見の成績を比較した。全ての参加者が従事したウォームアップ問題と本番問題の2問を分析に用いた。各問題の制限時間内に、正しい規則を報告し、全てのテストに正解した参加者を規則発見者と定義した。両問題ともに規則を発見できなかった参加者には0点、1問のみ規則を発見できた参加者には1点、両問題ともに規則を発見した参加者

には2点を与えた。WMC high 群の参加者 ($M = 1.500, SD = 0.522$) のほうが、WMC low 群の参加者 ($M = 1.083, SD = 0.669$) より、得点が高い傾向があった ($t(22) = 1.701, p = .051$)。効果量 d は 0.695 であり、中程度の効果が確認された。

以降は、眼球運動データを含む分析を行う。分析対象の問題は規則未発見問題に統一された。これは、規則発見の前後は、規則探索時とは異なる行動がとられたと考えられるためである。全ての参加者が従事したウォームアップ問題と本番問題のうち、ウォームアップ問題は制限時間が他の問題と異なり、多くの参加者が規則を発見したため、本番問題のデータを分析に利用した。ただし、本番問題において規則を発見した3名の参加者については、追加問題のデータを利用した。以下の参加者を分析から除外した。第1に、眼球運動の取得率が問題全体の50%以下であった6名 (WMC high 群5名, low 群1名) を分析から除外した。さらに、本番問題の中盤以降において規則を発見したため、実験時間の都合上、追加問題を実施できなかった WMC low 群の2名、

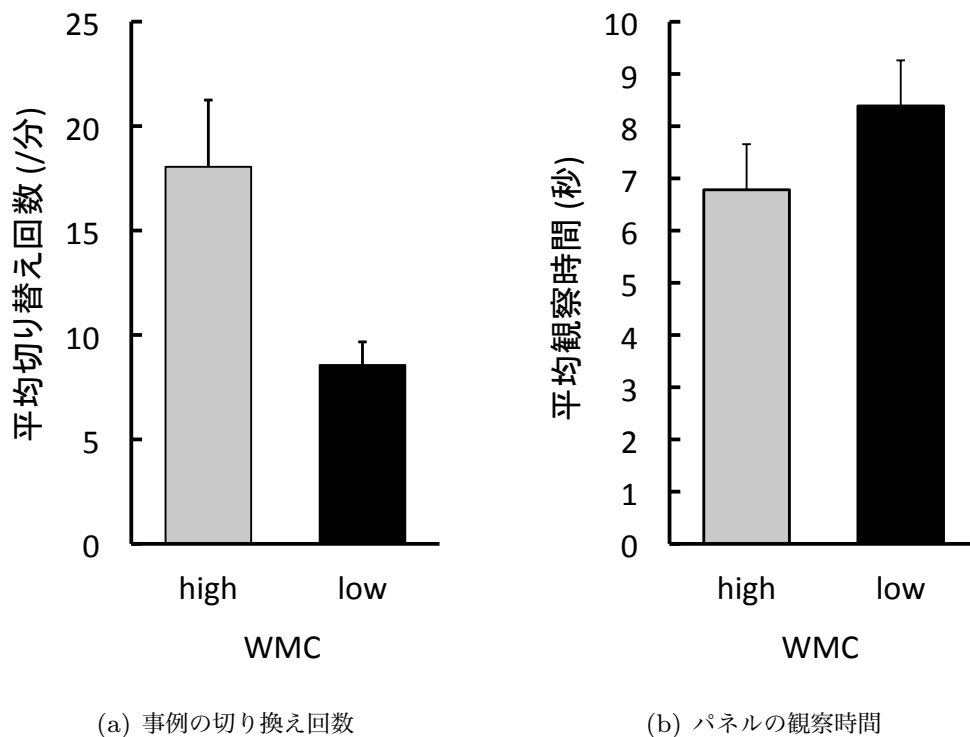


図 2.3 事例の切り替え回数とパネルの観察時間. (a) 1 分あたりの事例の平均切り換え回数, (b) 1 パネルあたりの平均観察時間.

パネルの観察時間が平均より3標準偏差以上長かった WMC high 群の1名が除外された。分析対象者は WMC high 群が6名, low 群が9名であった。

まず, 1分あたりの事例の平均切り換え回数およびパネルの平均観察時間を算出した。観察時間は興味領域 (Area Of Interest: AOI) を各パネルの中心から左右 6.03° , 上下 4.14° に設定し算出した。各平均値を図 2.3 に示す。WMC high 群の参加者の事例の切り換え回数は, WMC low 群の参加者の事例の切り換え回数より有意に多かった ($t(13) = 2.805, p = .030, d = 1.578$)。しかし, パネルの観察時間には, WMC high 群と low 群の間に有意な差は認められなかった ($t(13) = 1.210, p = .248, d = 0.647$)。

さらに, 事例の観察について, 同じ機能を持つ規則を生成中の事例の切り換え回数を比較した。眼球運動から同じ機能を持つ規則を生成し続けている区間を同定し, 各区間における事例の切り換え回数を数えた。具体的には, 同じパネルを観察中の左右の矢印キーの押下回数を数えた。図 2.4 に各群のパネルの観察時間と1観察あたりの事例の切り換え回数の関係を示す。パネルの観察時間を共変数, WMC を独立変数として, 事例の切り換え回数に対

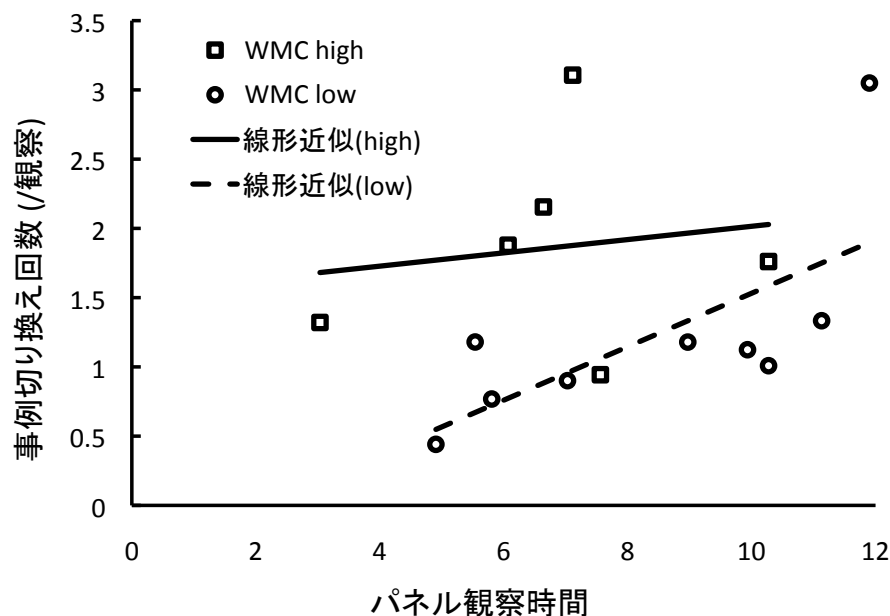


図 2.4 パネルの観察時間と事例切り換え回数の関係。

して共分散分析を行った。WMC とパネルの観察時間の交互作用は認められなかった ($F(1, 11) = .847, p = .377, \eta^2 = .045$)。WMC の主効果が有意に達した ($F(1, 12) = 5.486, p = .037, \eta^2 = .287$)。WMC high 群の参加者のほうが、WMC low 群の参加者よりも事例の切り換え回数が有意に多かった。パネルの観察時間の主効果は有意傾向であった ($F(1, 12) = 3.837, p = .074, \eta^2 = .201$)。

2.5 研究1の考察

研究1は、規則推論におけるWMCと規則発見成績の関連の追試、および、WMCの大小によりどのような推論過程の差異が生じるのかを、眼球運動データを用いて検討を行った。以下の3つの仮説が検討された：WMCが大きい参加者のほうが、WMCが小さい参加者に比べ、(1) 規則発見の成績が良い、(2) 事例の比較を頻繁に行う、(3) 同じ機能を持つ規則の生成を継続する。実験の結果、以下の点が明らかとなった。

第1の仮説はWMC high群とWMC low群の参加者の規則発見成績を比較することにより検証された。WMC high群の参加者のほうが、WMC low群の参加者より、規則発見の成績が高い傾向があった。両者の差異が傾向しか示さなかった理由は、分析に使用された2問の問題のうちウォームアップ問題に使用された規則は、3問の問題のうちで最も発見が容易であり、両者の差異が検出できなかったためであると考えられる。一方で、統計的に中程度の効果量が見られたことから、適切な難易度の問題を用いれば、WMCの異なる2群間の規則発見の差異は有意となると考えられる。この結果より、第1の仮説は部分的に支持され、先行研究同様、WMCの大小が規則推論の成績に影響することが追試された。

先行研究で用いられた規則推論課題は、順番の推論や言語類推、数字や文字セットの規則性の発見などの単純な推論課題が多かった (Kane et al., 2004; Kyllonen & Christal, 1990; Süß et al., 2002)。研究1の実験で用いられた規則推論課題は、それらの先行研究で用いられた課題に比べ、規則に利用されない刺激を含む多くの刺激が同時に提示された。さらに、ターゲット候補のアルファベットの数も多く、規則を見つけるまでの時間も長くなる。研究1の結果は、そのような比較的複雑な規則推論課題でも、WMCが大きい参加者のほうが、WMCが小さい参加者よりも、規則発見の成績が良いことを示す。

第2の仮説である事例の比較に関しては、課題中の事例の切り替え回数を

用いて検証された。まず、WMC high 群の参加者のほうが、WMC low 群の参加者より、1分あたりの事例の切り換え回数が多かった。WMC high 群の参加者は事例の比較を頻繁に行う方略をとるため、1つの事例に注目し続けることなく、事例の切り換えを行なったと考えられる。しかし、WMC low 群の参加者は、時間をかけて事例の比較を行っていたため、最終的な事例の切り換え回数が少なくなった可能性が残る。そこで、同じ機能を持つ規則を生成し続けている期間の事例の切り換え回数の比較を行なった。もし、WMC low 群の参加者が、時間をかけて比較を行っていたならば、切り換え回数は WMC high 群の参加者と同程度になると考えられる。結果として、WMC high 群の参加者のほうが、WMC low 群の参加者より、事例の切り換え回数が有意に多かった。このことから、WMC の小さい参加者が時間をかけて事例の比較を行なったという可能性は棄却される。以上の結果から、WMC が大きい参加者は、各機能を持つ規則の生成の際、WMC が小さい参加者よりも事例の比較を頻繁に行う方略をとったことが示され、第2の仮説は支持された。WMC 得点に反映される情報の保持量が、事例の比較を通して、規則発見の成績に影響する可能性が示唆される。

第3の仮説である各機能を持つ規則の生成の継続時間に関しては、各パネルの観察時間を用いて検証された。実験の結果、WMC の大小による観察時間の違いは認められなかった。これは、WMC が大きいほど同じ機能を持つ規則を生成し続けるため、1つのパネルの観察時間が長くなるという予測と異なる結果であり、第3の仮説は棄却される。先行研究で示された、WMC が大きい参加者ほど目標に注意を維持できるという知見は、規則推論の各機能を持つ規則の生成の継続時間には拡張されないことが示された。

WMC と注意のコントロールの関連を調べた先行研究に用いられた課題を比較すると、研究1の規則推論課題は異なる性質を持っていた。先行研究で用いられた課題はストループ課題等の刺激に反応する課題が中心であった (Kane & Engle, 2003; Kane et al., 2001; McVay & Kane, 2009)。そのような課題で

は、反応すべき対象や属性は常に一定であり、それにのみ注意を向け続けられれば課題の成功が保証されていた。そのため、それらの課題では目標とする対象へ注意を集中する能力の高いWMCが大きい参加者のほうが、WMCが小さい参加者より高い成績を残すことができた。一方、研究1では、高次の認知活動を必要とする規則推論課題を用いた。本課題の特徴の1つとして、注意を払うべき対象が1つではなく、複数の機能の中から1つを選択して、規則を生成する必要があるという特徴があった。1つの機能を持つ規則の生成に過度に注意を集中し過ぎることは、他の機能を持つ規則の生成を疎かにすることにつながる。そのため、1つの機能を持つ規則の生成の継続時間の長さに着目した第3の仮説は支持されなかったと考えられる。

複数の異なる機能を持つ規則の生成が必要な課題においては、他の機能を持つ規則の生成を疎かにするような、ある機能を持つ規則への過度の集中を避けなければならない。それには、生成する規則の持つ機能を適切に変更する必要がある。適切な変更のためには、正しい規則がどのような機能を持つ可能性が高いかを見積もることが重要であると考えられる。この点に関して、Schunn, Lovett, & Reder (2001) は、WMCの大きい参加者のほうが、WMCが小さい参加者より、問題解決における複数の方略のそれぞれが問題の解決に成功する確率の見積もりに優れていることを示している (cf. Schunn & Reder, 2001)。さらに、規則の機能の切り換えは、考え方を変更するという点で、洞察問題解決における制約からの逸脱、新たな制約の発見と類似している。Chein, Weisberg, Streeter, & Kwok (2010) は、洞察問題解決における制約からの逸脱が、空間スパンテストの得点と関連することを示した。WMCの大小は各機能を持つ規則の推論の長さには影響しないという本研究の結果と、WMCの大小が方略の有効性を見積もりや問題表象の切り替えに影響するという先行研究から、WMCは同じ機能を用いて規則を生成する長さよりも、機能の切り替えに影響すると考えられる。そのため、実験者により設定された規則に各機能が用いられているかを見積もる能力が、WMCと規則推論の成

績の関連を説明する原因の1つである可能性が挙げられる。

本研究の結果は、事例に基づく規則推論における個人差の研究に以下の新たな知見を与えた。第1に、情報の保持量の差異が、事例の観察方略を通して、WMCと規則発見の成績の関連を説明する可能性が示唆された。第2に、注意のコントロール能力に関する先行研究による知見は、規則推論において同じ規則の機能を用い続ける時間には適用されなかった。今後の課題として、参加者が規則の機能の切り換えをどのように行っているかを解明するために、各機能が実験者により設定された規則に用いられる可能性を参加者が見積もる能力とWMCとの関連の検討が望まれる。

第3章

正負の事例が混在する場面における 規則推論に関する検討

第3章では、負事例に直面した際に、推論に利用する規則の機能をどのように変更するかを調べた研究2について述べる。特に、天動説から地動説への移行のようにある現象を説明する理論が転換する期間や、間違った規則から他の規則へと規則の変更を行う期間に生じる、正事例と負事例が混在して出現する状況に注目している。本章では、まず、研究2の対象とする、発見した規則に対する正負の事例が混在する期間を通して、その規則が棄却される場合に生じる3段階のフェーズについて説明する。続いて、負事例と正事例の混在する期間において生成される規則の持つ機能について、機能の変更時期において対立する移行仮説と維持仮説の2種類の仮説を紹介する。また、維持仮説において支持される機能の変更時期については、なぜそのような変更が行われるかを説明する2種類の説明を挙げる。その後、これら2種類の仮説と、維持仮説が支持された場合にはその2種類の説明を検討するために行われた実験1, 2とその結果を紹介する。最後に、規則推論における負事例の出現の影響について考察する。

3.1 3段階のフェーズ

以降では、最初に発見される規則を“初期規則”と呼ぶ。初期規則が正しい規則ではなかった場合は、初期規則の発見、そして、その棄却と新たな規則の生成の3段階のフェーズが存在する。研究2では、規則推論の過程を、事例と初期規則の関係に基づき、上記の3段階のフェーズに分けて検討する。第1のフェーズは、期間中に観察される事例が初期規則を支持する“初期期間”である。実験参加者は初期規則を発見し、その適用に成功し続けるため、初期規則が正しいという確信が強められる。続くフェーズは、研究2の検討対象である、初期規則に対する正事例と負事例が混在する期間である。この期間を“混在期間”と呼ぶ。この期間で負事例に直面した参加者は、初期規則を棄却するかどうかを勘案する。最後は、第3のフェーズである、初期規則に対する負事例が支配的な“ポスト混在期間”である。初期規則は完全に棄却され、初期規則に代わる全ての事例を説明可能な規則の発見が目標とされる。もし、ポスト混在期間で発見された規則が、正しい規則ではなかった場合は、その規則が新しい初期規則となり、上記の3段階のフェーズが繰り返される。これら3段階のフェーズの事例の内容と参加者の生成する規則の関係は実験1において確認された。

3.2 仮説

初期規則の持つ機能を“初期機能”と呼ぶ。まず、初期期間では、実験参加者は初期規則を発見することにより、提示される事例に初期規則が適用可能かをテストすることを主な目的とする。そのため、参加者は事例の中の初期機能に関連する特徴にのみ注意を向けるようになるだろう。Blair et al. (2009) や Rehder & Hoffman (2005) は、カテゴリー学習課題を用い、カテゴリーの分類規則を発見した参加者が、規則に関連のある特徴にのみ注意を向けるようになることを示している。

続く混在期間において実験参加者が利用する規則の機能については、彼らが初期機能へ向けていた関心を他の機能へ向けるか否かにおいて対立する2種類の仮説がたてられる。一方の仮説は、参加者が、1つの負事例に直面することにより初期機能を中心とした規則推論をやめ、他の機能を持つ規則の生成へと移行するという“移行仮説”である。Popper (1992) の反証主義によれば、規範的には1例の反証事例によって仮説の反証は完結する。また、多くの先行研究において、実験参加者は1つの負事例により初期規則を棄却し、新しく規則を考え直すことが示されている (Kareev et al., 1993; Klayman & Ha, 1987; Mynatt, Doherty, & Tweney, 1977; Wason, 1960)。また、松林他 (2011) は、現在の説明に反する事実と直面すると、参加者はそれまでの説明において重視していた事実へ向けていた注意を他の事実へ移行させることを示している。移行仮説が支持された場合は、混在期間に入るとすぐに初期機能に関連する特徴への注意の集中が解消され、初期機能を持つ規則の生成は他の機能を持つ規則の生成と同程度、または、それよりも少なくなることが予測される。

もう一方の仮説は、負事例に直面しても初期機能への関心が維持されるという“維持仮説”である。移行仮説とは、実験参加者が初期機能へ向けている注意を保ち続けるという点で対立する。維持仮説が支持される場合、混在期間においても初期期間と同様に、参加者は他の機能より初期機能を重視し、

初期機能を持つ規則の生成を、他の機能を持つ規則の生成よりも多く行うと予測される。

維持仮説で予測される、初期機能を持つ規則の生成が続けられる原因として、以下の2種類の説明が考えられる。一方は、実験参加者が初期規則を部分的に変更し負事例を説明しようとするため、初期機能を持つ規則の生成を続けるという説明である。例えば、Chinn & Brewer (1993) や Mason (2001) は、自分の持つ理論にあわないデータに直面しても、実験参加者がデータの再解釈や、理論の周辺的な修正 (peripheral change) などを行い、現在の理論を変更しようとしなかったことを示した。Dunbar (1995) は、参加者自身が実験を行うという実験状況において、自身の持つ仮説にあわないデータが出現した時でも、現在の仮説を変えようとしなかったことを示した。

もう一方は、注意の学習に基づいてどのような機能を持つ規則を生成するかを説明する立場である。カテゴリー学習における実験参加者の眼球運動は、注意の学習モデル (e.g., ALCOVE; Kruschke, 1992) により以下のように説明された。始めに、参加者は分類規則を発見すると、注意を向けるべき特徴と抑制すべき特徴を学習する。分類規則に対する正のフィードバックは、学習された特徴への注意を強化する。一方、負のフィードバックに直面すると、参加者は他の特徴へ注意をシフトさせる (cf. Kruschke, 2003; Kruschke, Kappenman, & Hetrick, 2005; Le Pelley, Beesley, & Griffiths, 2011; Rehder & Hoffman, 2005)。

同様に、規則の機能の決定でも、初期規則に対する正負の事例により、それぞれ初期機能の正負の強化がなされると考えられる。注意の学習モデルに基づき考えると、実験参加者は初期期間では初期規則を発見することにより、初期機能へ注意を向けるよう学習する。続いて、混在期間において、負事例に直面したとき初期期間に学習した初期機能の利用可能性が低下し、他の機能の利用可能性が上昇する。一方で、正事例が与えられると、初期機能の利用可能性が再度強化される。初期期間における学習と正事例による注意の強化により、結果的に初期機能を持つ規則の生成が、他の機能を持つ規則の生

成よりも多く行われる。

これらの2種類の説明のどちらが適切であるかは、混在期間において正事例と負事例に直面した際、実験参加者が初期機能を持つ規則の生成をどのように行うかに基づき判断可能である。もし、初期規則の修正に基づく説明が妥当ならば、参加者は初期機能を持つ規則の生成を、正事例に直面した時よりも、負事例に直面した時に顕著に行うと予測される。なぜなら、負事例においては、初期規則を修正し初期規則と同様の初期機能を持つ規則を生成する必要があるためである。一方、正事例においては、初期規則が適用可能なため規則の修正をする必要がなく、新しい規則の生成そのものが必要とされない。逆に、注意の学習に基づく説明が妥当ならば、参加者は初期機能を持つ規則の生成を、負事例に直面した時よりも、正事例に直面した時に顕著に行うと予想される。なぜなら、正事例においては、初期規則が適用可能であり、初期機能の利用可能性が強化されるためである。一方、負事例においては、初期機能の利用可能性は低下し、他の機能の利用可能性が強化される。

3.3 実験課題

第1章で説明した規則発見課題を実験に用いた。図3.1に課題画面のスクリーンショットを示す。課題画面は3種類のパネルと1つのターゲットおよびネクストボタンからなる。参加者はいずれか1つのパネルとターゲットの間に存在する規則性を見つけることを求められた。パネルとターゲットの間の規則には、初期期間において発見されることが期待される初期規則と、課題全体に通用する包括規則の2種類を設けた。以降では、初期規則が成り立つ事例を正事例、初期規則が成り立たない事例を負事例と呼ぶ。なお、包括規則は全ての事例で成り立つ。よって、研究2で正事例と呼ばれる事例では初期規則と包括規則がともに成立し、負事例と呼ばれる事例では包括規則のみが成立した。つまり、包括規則は課題中に提示される全ての事例を包括的に説明したが、初期規則は正事例のみしか説明しなかった。

初期規則は、矢印パネルに表示される2種類の矢印の合計角度分、aを起点として時計回りに移動したアルファベットがターゲットとなるという規則で

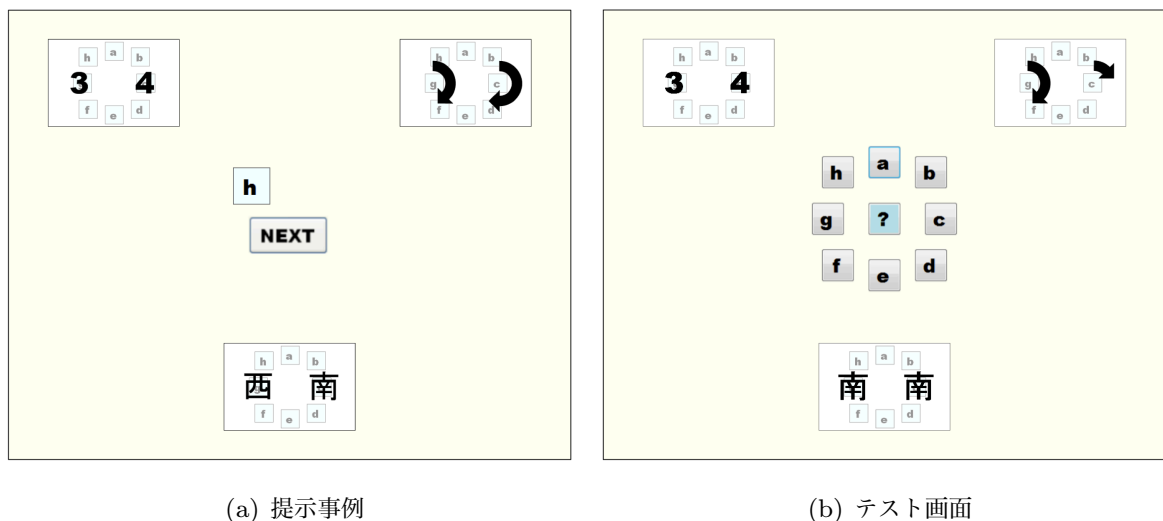


図3.1 研究2に用いられた課題画面のスクリーンショット。(a) 規則推論のために提示された事例(正事例)。3種類のパネルと1つのターゲットおよびネクストボタンからなる。(b) テスト時に表示される課題画面。3種類のパネルとアルファベットが記された8つのボタンとクエスチョンマークが記された1つのボタンからなる。

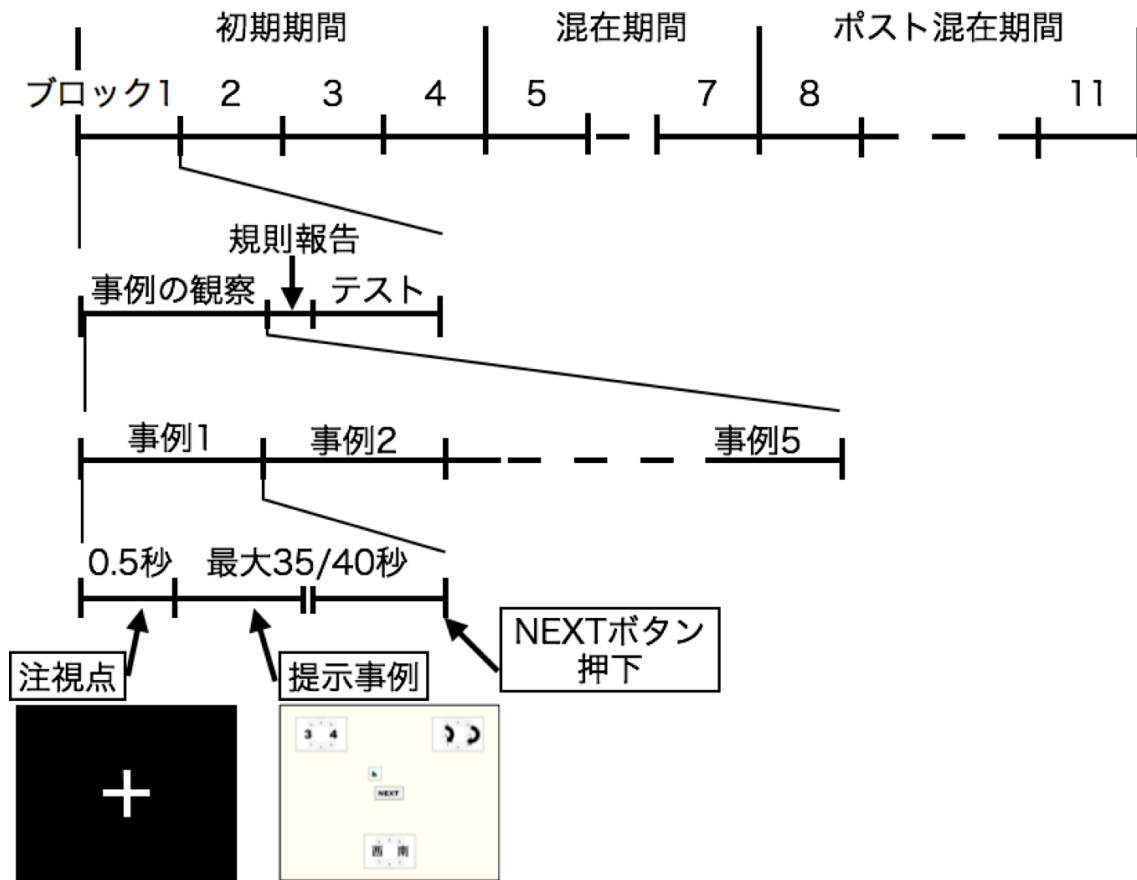
あった。例えば，135 度と 180 度の矢印が表示されている場合 (図 3.1(a))，a から時計回りに，それらの角度の合計である 315 度移動した h がターゲットとなった。包括規則では，方位パネルに表示される 2 種類の方位の組み合わせが指す位置から，南北を反転した位置のアルファベットがターゲットとされた。例えば，西と南が表示されている場合 (図 3.1(a))，2 種類の方位を組み合わせた南西から，南北を反転した北西の位置にある h がターゲットとなった。図 3.1(a) は，正事例であるため，初期規則を包括規則がともに成立する。初期規則の持つ初期機能は矢印パネルと対応する移動の機能，包括規則の持つ包括機能は方位パネルと対応する位置の機能であった。

眼球運動の取得の都合上，図 3.1(a) に示したとおり課題画面のパネルの上下の配置を変更した。同時に全パネルの位置を内側に寄せ，各パネル間の距離を 20.06° (230 mm) に変更した。その他の設定は，先に記した研究 1 と同様である。

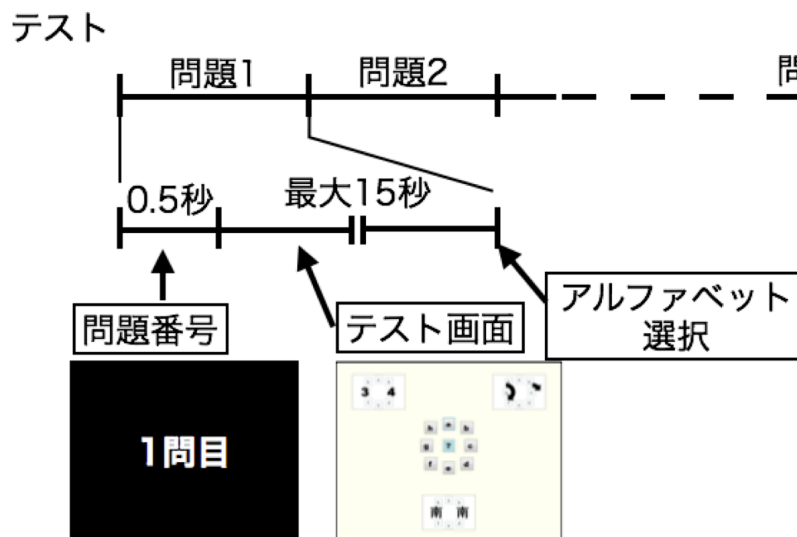
3.3.1 実験課題の流れ

図3.2に課題の流れを示す。図3.2(a)に示した通り課題は11ブロックからなっており、1つのブロックは5種類の事例の観察と4問のテストで構成された。各ブロックの流れは以下の通りであった。始めに、注視点が0.5秒表示され、その後、実験参加者は図3.1(a)に示されるような事例を提示され、規則の生成を行った。提示事例は、NEXTボタンの押下、または、一定時間の経過により、次の事例へ切り替わった。参加者は前の事例に戻って観察することはできなかった。1ブロックあたり5個の事例が順に提示された。その後、参加者はその時点で推定される規則を報告し、テストに回答した。テストでは図3.2(b)に示した通り問題番号が0.5秒間表示された後、テスト画面が表示された(図3.1(b))。テスト画面には3種類のパネルとaからhの各アルファベットが表示された8つのボタン、および、クエスチョンマークのボタンが表示された。なお、課題中の全てのテストにおいて、初期規則と包括規則が異なるアルファベットをターゲットとして予測するよう、矢印パネルと方位パネルに提示される刺激を設定した。参加者は表示されたパネルの内容からターゲットとなるアルファベットを予測し、そのアルファベットの書かれたボタンを押下した。ボタンの押下、または15秒が経過すると次の問題が提示された。参加者は、ターゲットの予測ができず、アルファベットの選択ができない際は、中央のクエスチョンマークのボタンを押すよう教示された。なお、参加者の選択が初期規則、または、包括規則に基づいて選択されるアルファベットと一致しているかどうかのフィードバックは与えられなかった。参加者は全4問のテストに回答した。参加者がテストにおいて選択したアルファベットが、初期規則または包括規則を用いて予測されるアルファベットと一致するかどうかに基づき、その参加者がターゲットの予測に初期規則か包括規則のいずれかを用いていたかを同定した。

11のブロックのうち、ブロック1から4が初期期間、ブロック5から7が混



(a) 実験課題全体の流れ



(b) テストの流れ

図 3.2 研究 2 における実験の流れ. (a) 研究 2 における実験課題全体の流れ. 提示される事例は図 3.1(a) を参照. 提示時間は実験 1 で 35 秒, 実験 2 で 40 秒であった. (b) 規則報告後のテストの流れ. 提示されるテスト画面は図 3.1(b) を参照.

在期間、ブロック8から11がポスト混在期間に設定された。初期期間では、初期規則と包括規則がともに成り立つ正事例が提示された。実験参加者は発見がより容易な初期規則を発見することが予測された。混在期間においては、正事例と負事例が混在して提示された。ポスト混在期間では、包括規則のみが成り立つ負事例のみが提示された。最終的に、参加者は初期規則を棄却し、包括規則を発見する事が予測された。各期間における参加者の報告規則に関しては実験1で確認された。

WMCに関する研究1と同様、第1章で説明した各パネルの観察時間を各機能を持つ規則を生成している時間の指標として用いた。

3.3.2 予測

以下で、本課題を用いた実験で得られる結果の予測を行う。まず、初期期間では初期規則の発見により、初期機能に関連する特徴にのみ注意を向けるようになると考えられる。そのため、初期機能と対応する矢印パネルの観察時間が、他の2種類のパネルの観察時間より長くなると予測される。混在期間では、規則推論に利用する機能を初期機能から変更する時期において対立する移行仮説と維持仮説に基づき、2種類の対立する実験結果が予測される。

移行仮説では、初期機能を中心とする推論は、1つの負事例により解消されるとしている。そのため、負事例が提示された混在期間に入ってすぐに初期機能に対応する矢印パネルへの観察時間の偏りは解消され则认为られる。よって、混在期間に入り初期期間における矢印パネルと他の2種類のパネルの観察時間の差が解消された場合、移行仮説が支持される。一方、維持仮説では、負事例に直面しても初期機能を持つ規則の生成が行われ続けるとしている。そのため、混在期間で負事例に直面しても、初期期間と同様に、初期機能に対応する矢印パネルの観察時間が他のパネルの観察時間より長かった場合、維持仮説が支持される。

維持仮説が支持された場合、その原因に関して、初期規則の修正に基づく

説明と注意の学習に基づく説明の異なる2種類の説明が考えられる。どちらの説明が支持されるかにより異なる実験結果が予測される。もし、初期規則の修正に基づく説明が妥当であれば、負事例に直面した時に初期規則を修正し、初期機能を持つ他の規則を生成する。そのため、混在期間において負事例に直面した時に、初期機能に対応する矢印パネルの観察時間が長くなると予測される。もし、注意の学習に基づく説明が妥当であれば、正事例に直面した時に初期機能の利用可能性が強化される。そのため、混在期間において正事例に直面した時に、初期機能に対応する矢印パネルの観察時間が長くなるだろうと予測される。

3.4 実験1

研究2の目的は、正事例と負事例の混在期間における、実験参加者の初期規則の棄却、および、新たな規則の推論の過程を明らかにすることである。実験1では、本課題で設定した混在期間がその検討に適しているかを調べるため、参加者の報告した規則から、以下の2点を確認した。第1に、本課題における混在期間において、初期規則の棄却、新しい規則の生成への転換が徐々に生じるかどうか、第2に、そのような棄却や転換は、混在期間が存在する場合にのみ生じるかどうかであった。そのため、正事例と負事例の混在期間が存在する混在条件と、ある時点を境に負事例のみが単一に提示される単一条件を実施した。参加者は正負の事例の混在により初期規則を棄却するか否かを勘案すると予測するため、混在条件の参加者のほうが、単一条件の参加者よりも、初期規則を緩やかに棄却すると考えられる。

あわせて、混在期間における負事例が多いほうが、初期規則の棄却が早いかを検討した。そのために、混在期間中の負事例の出現量が異なる2種類の混在条件を設定した。混在期間においてブロックごとに負事例の出現量が徐々に増加する混在・増加条件と、各ブロックに負事例が常に1個のみ出現する混在・少数条件であった。もし負事例の割合が大きいほうが、初期規則が棄却されやすいならば、負事例が少ない少数条件において、増加条件よりも緩やかに初期規則の棄却が起こると予測される。

3.4.1 方法

要因配置計画

参加者間の1要因3水準(単一、混在・増加、混在・少数)計画の実験を実施した。

参加者

名古屋大学の文系の学部生 90 名が実験に参加した。参加者は各条件に無作為に割り振られた。単一条件に 31 名 ($M = 18.71$, 男性 15 名, 女性 16 名), 混在・増加条件に 27 名 ($M = 18.33$, 男性 13 名, 女性 14 名), 混在・少数条件に 32 名 ($M = 18.56$, 男性 12 名, 女性 20 名) が割り当てられた。

課題と手続

第 3 節で説明した規則推論課題が実験に用いられた。全条件に共通して、第 5 ブロックの第 1 試行までは実験者により初期期間に設定され、正事例のみが与えられた。第 5 ブロックの第 2 試行において初めて負事例が出現した。第 5 ブロックから第 7 ブロックの負事例の提示割合を条件ごとに操作した。単一条件では、正負の事例の混在を経ず、第 5 ブロックの第 2 試行以降は、全て負事例のみが与えられた。混在・増加条件では、正事例に混在して、第 5 ブロックの第 2 試行、第 6 ブロックの第 2, 4 試行、第 7 ブロックの第 2, 3, 5 試行に負事例が提示された。この条件では、負事例の数が、1 事例、2 事例、3 事例と徐々に増加した。一方、混在・少数条件では、正事例に混在して、各ブロックの第 2, 2, 3 試行において、それぞれ 1 個ずつ負事例が与えられた。第 8 ブロック以降は、ポスト混在期間に設定され、全ての条件で負事例のみが与えられた。1 事例の観察時間は、最大 35 秒に設定された。

実験は集団で実施された。参加者はコンピュータ端末で個別に課題に取り組んだ。課題に先立ち、各パネルの機能、課題の内容や手続きが説明され、参加者は十分な練習を行った。その後、彼らは各自のペースで課題に取り組んだ。課題の流れは第 3 節で説明した通りである。各ブロックにおいて、5 事例が提示された後、参加者はキーボードからのテキスト入力による規則の報告、4 問の確認テストを行った。なお、報告規則やテストの回答へのフィードバックは与えられなかった。

3.4.2 結果

課題中に居眠り、または、他の参加者と会話をしたため、単一条件から1名、混在・増加条件から6名が分析から除外された。各ブロックにおいて参加者が報告した規則を、初期規則、包括規則、その他の規則および無回答の4種類に分類した。複数の種類の規則を報告した場合は、その全てに数えられた。研究2では、初期規則の棄却に焦点を当てるため、第3、第4ブロックの両ブロックで初期規則のみを報告した参加者を、初期規則を発見、利用した参加者とみなし、分析に用いた。各条件の初期規則の発見者は、単一条件で30名中24名、混在・増加条件で21名中12名、混在・少数条件で32名中22名であった。条件間で初期規則の発見者の数に違いは認められなかった($\chi^2(2) = 3.098, p = .213$, Carmer's $V = .193$)。

図3.3に、条件ごとに各規則を報告した参加者の割合の遷移を示す。図3.3(a)より、第3、第4ブロックにおいて、全参加者が初期規則を報告していることが確認できる。予測通り、単一条件においては、提示される事例が負事例に切り替わった第5ブロックで急激な初期規則の報告者の減少が見られた。その割合は第5ブロックにおいて8.33%に激減し、第6、第7ブロックでは初期規則を報告した参加者はいなかった。一方、2種類の混在条件では、単一条件よりも緩やかな初期規則の報告者の減少が生じた。負事例が正事例に混在し提示され始める第5ブロックにおける初期規則の報告者は増加条件で91.67%、少数条件で86.36%となり、ほぼ同割合であった。第6ブロックにおいては増加条件で16.67%、少数条件で45.45%、第7ブロックにおいてはそれぞれ16.67%、31.81%となった。増加条件において初期規則報告者の割合が小さい傾向があったが、どちらのブロックでも統計的な差は有意ではなかった(Fisher's exact test ブロック6 $p = .140, \phi = .228$; ブロック7 $p = .439, \phi = .164$)。どちらの混在条件においても、第7ブロックまで15%以上の参加者が初期規則を報告した。包括規則の報告者の割合は、全条件で第5ブロックから緩や

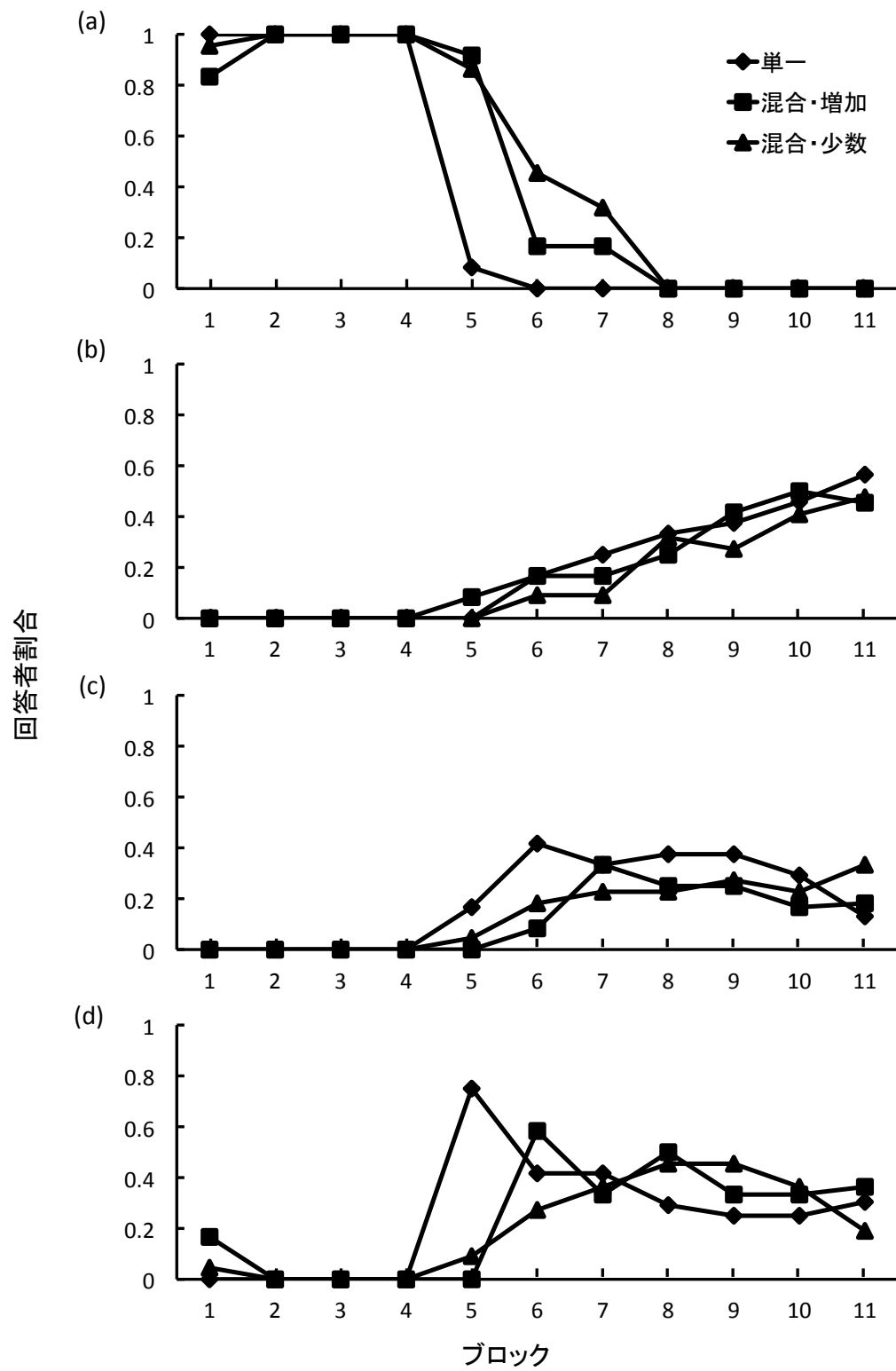


図 3.3 各条件における各規則の報告者の割合. (a) 初期規則, (b) 包括規則, (c) その他の規則, (d) 無回答.

かに上昇し、第11ブロックにおいて50%程度に達した(図3.3(b))。条件間での違いは認められなかった($\chi^2(2) = 0.512, p = .774$, Carmer's $V = .096$)。

その他の規則の報告は、第5ブロックから出現し始め、20%から40%の報告者割合を保った(図3.3(c))。また、無回答については、単一条件では第5ブロック、混合・増加条件では第6ブロックで、急激に報告が増加し、それぞれ、75.00%, 58.33%まで達した(図3.3(d))。それ以外では40%程度の出現を保っていた。その他の規則の報告および無回答に関しては、単一、混合・増加条件における無回答の急激な増加を除いて、3条件の報告割合は同程度であった。

続いて、テストにおける初期規則の利用割合を調べるため、参加者の選択ボタンが初期規則に基づく選択と一致した割合を算出した。図3.4に各ブロックのテストにおける、初期規則に基づいた選択の割合の平均を示す。第4ブロックでは、全条件で90%以上の初期規則に基づく選択が行われていた。規則報告と同様、単一条件においては、負事例のみが提示されるようになる第5ブロックで初期規則に基づく選択が36.45%へと急激に減少した。一方、2種類の混在条件における減少は緩やかで、負事例が出現し始める第5ブロックにおいて90%以上、第7ブロックにおいても40%程度の利用があった。

混在期間とその前後の初期規則の利用割合を調べるために、第4ブロック

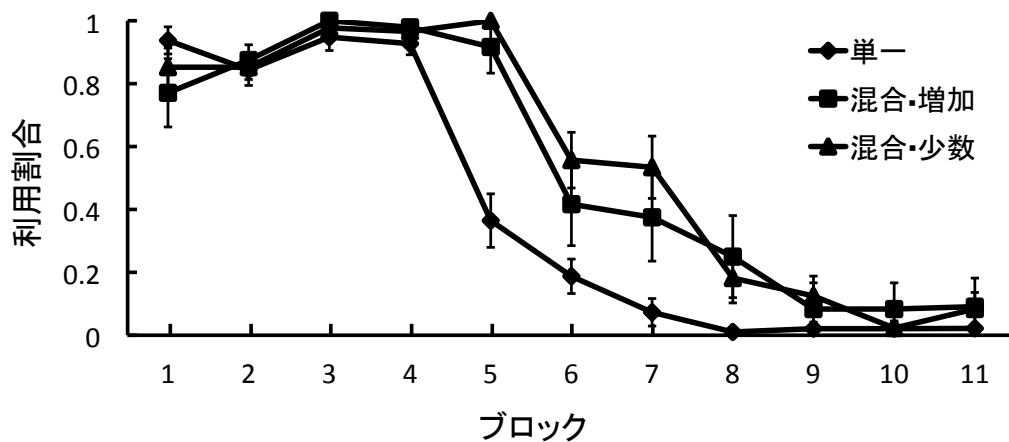


図3.4 条件ごとのテストにおける初期規則の利用割合、初期規則に基づく回答と参加者の回答が一致した割合を示す。

から第8ブロックにかけての初期規則の利用割合において、3 (負事例数: 単一, 増加, 少数) \times 5 (ブロック) の分散分析を行った。その結果、負事例数要因とブロック要因の交互作用が有意であった ($F(8, 220) = 4.599, p < .001, \eta_p^2 = .143$)。全条件でブロック要因の単純主効果が有意であったが ($F_s(4, 220) > 17.467, ps < .001$)、ここでは各ブロックにおける負事例数要因の効果にのみ注目する。負事例数要因の単純主効果は第5ブロックから第7ブロックで有意であり ($F_s(2, 55) > 5.787, ps < .005$)、第8ブロックでは有意傾向であった ($F(2, 55) = 3.029, p = .056$)。第5ブロックでは単一条件が他の2条件より利用割合が有意に小さく ($ps < .001$)、第6ブロックでは、単一条件と混在・少数条件の間にのみ有意な差が認められ ($p = .004$)、第7ブロックでは、単一条件と混在・少数条件の間に有意差が ($p < .001$)、単一条件と混在・増加条件の間に有意傾向が認められた ($p = .092$)。また、負事例数要因の主効果とブロック要因の主効果が有意であった (負事例数要因 $F(2, 55) = 19.224, p < .001, \eta_p^2 = .411$; ブロック要因 $F(4, 220) = 75.602, p < .001, \eta_p^2 = .579$)。以上の結果から、単一条件で混在条件と比べ、初期規則の利用割合が素早く減少したことがわかる。また、2種類の混在条件間では差はほぼ認められなかった。

3.4.3 考察

実験1では、混在期間における、初期規則の棄却が負事例の提示方法から期待される通りの過程を経て発生するかを確認し、さらにその棄却行動に対する負事例の量の影響を調べた。2種類の混在条件では、第5ブロックから第7ブロックにかけて緩やかな初期規則の報告者の減少が生じた。これは、正事例と負事例の混在する混在期間において期待された通り、初期規則の妥当性が勘案され、漸進的に棄却が生じたことを示している。一方、単一条件では、提示される事例が全て負事例に切り替わる第5ブロックで初期規則の報告者が急激に減少した。これは、参加者がある時点を境として負事例しか観察しなくなる場合には、初期規則は漸進的なプロセスを辿らず、確定的に棄

却されたことを示している。同様に，テストにおける初期規則に基づく選択の割合から，単一条件の参加者は混在条件の参加者より，早いブロックで初期規則の使用をやめていたことが示された。

2種類の混在条件では，負事例の割合が小さい少数条件において，初期規則の報告者の減少がより緩やかな傾向が見られたが，統計的な差はなかった。負事例の数の差が小さかったため，明確な結果が得られなかったと考えられる。

3.5 実験2

実験1の結果、混在期間において、初期規則の緩やかな棄却が生じた。そこで、実験2では、混在期間において、参加者がどのように初期規則を見直し、新たな規則を推論しているかを同様の課題を用いて調べた。眼球運動の測定を行い、先に挙げた2種類の仮説のどちらが支持されるかを検討した：参加者が負事例の出現により初期機能ではない機能を持つ規則の生成を行うようになるという移行仮説と、負事例に直面しても初期機能を持つ規則の生成を続けるという維持仮説である。実験2においては、独立変数を設定せず規則推論のプロセスを取得した。研究2は混在期間における規則の推論を検討の対象としているため、実験1における3条件のうち、混在期間の存在しない単一条件ではなく、混在期間の存在する混在条件を使用した。特に、正事例と負事例の比較を行うため、両事例の数がより均等に近づく、増加条件を取り上げ、実験を行った。

3.5.1 方法

参加者

名古屋大学の学部生20名が実験に参加した。

課題と装置

実験1に用いられた課題と同様の規則発見課題が用いられた。ただし、実験2では問題を追加し、全2問の規則発見課題が行われた。それぞれを、確認問題、本番問題とする。確認問題は、各パネルの観察時間に偏りがないことを確認するために追加された。確認問題は全3ブロックから構成された。特定の規則を設定せず、各パネルに表示される刺激と、ターゲットとなるアルファベットの組み合わせは、無作為に設定された。本番問題は、実験1における混在・増加条件と同一の設定で行った。両問題とも、事例の観察時間を最大40秒とした。実験に使用された装置やその設定は、第2章に記したWMC

に関する研究1と同様であった。

手続

実験2は、参加者ごとに個別に実施された。課題に先立ち、各パネルの機能、課題の内容や手続が説明され、参加者は十分な練習を行った。その後、参加者は規則が存在しないことは通知されず、確認問題に従事した。続いて、短い休憩を挟み本番問題に従事した。実験手続は実験1と同一であった。ただし、両問題とも規則の報告は口頭で行われた。各ブロックを始める前に、眼球運動測定のためのキャリブレーションが行われた。

3.5.2 結果

初期規則の未発見者4名が分析から除外された。また全体の眼球運動取得率が50%以下であった2名の参加者、画面下部にあるパネルへの注視が取得できなかった1名の参加者が分析から除外された。全13名 ($M = 19.50$, 男性7名, 女性6名) の参加者のデータが分析に用いられた。全ての参加者は文系学生であった。

報告規則

図3.5に、実験1と同様に分類された各規則の本番問題における報告者の割合を示す。実験1と同様に、第5ブロックから第7ブロックにかけて緩やかに初期規則の報告者が減少し、第8ブロックで0名となった。ただし、実験1の混在・増加条件と比較すると減少が緩やかであった。これは口頭のほうが容易に規則を報告できたためであると考えられる。また、包括規則の報告者割合も、実験1とほぼ同様に第7ブロックから上昇し、第11ブロックにおいて46.15%に達した。さらに、図3.6にテストにおける、初期規則と包括規則に基づく選択割合を示す。報告規則と同様に、混在期間において初期規則に基づく選択が緩やかに減少し、包括規則に基づく選択が増加していることがわかる。

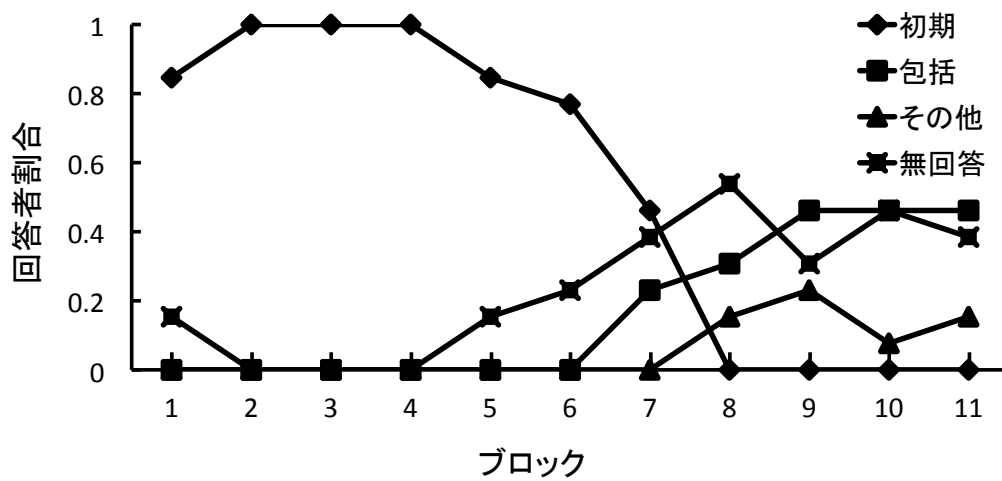


図 3.5 本番問題の各規則の報告者割合.

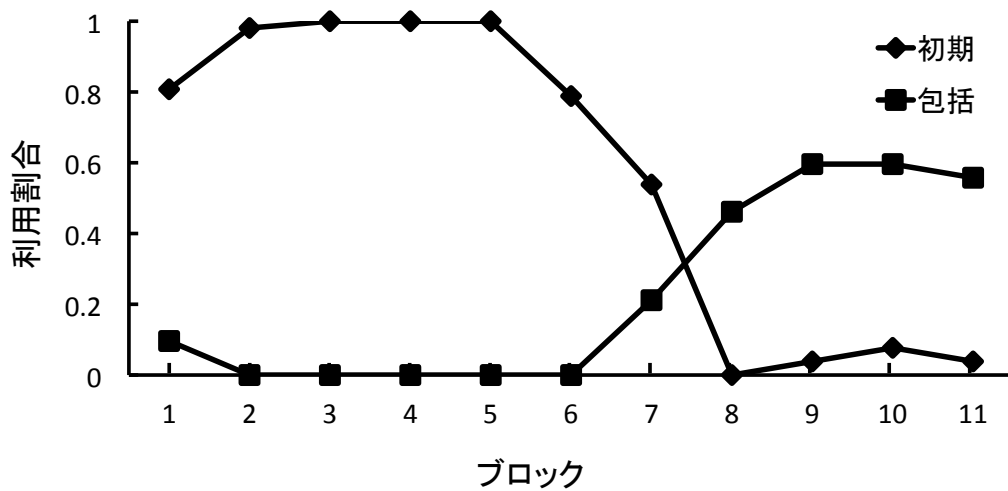


図 3.6 テストにおける初期, 包括規則の利用割合.

眼球運動データ

研究 1 と同様の AOI を設定し, 参加者ごとに各試行における各パネルの合計観察時間を算出した。図 3.7 に本番問題の各ブロックにおける各パネルの観察時間の割合の平均を示す。初期機能に対応する矢印パネルの観察割合は

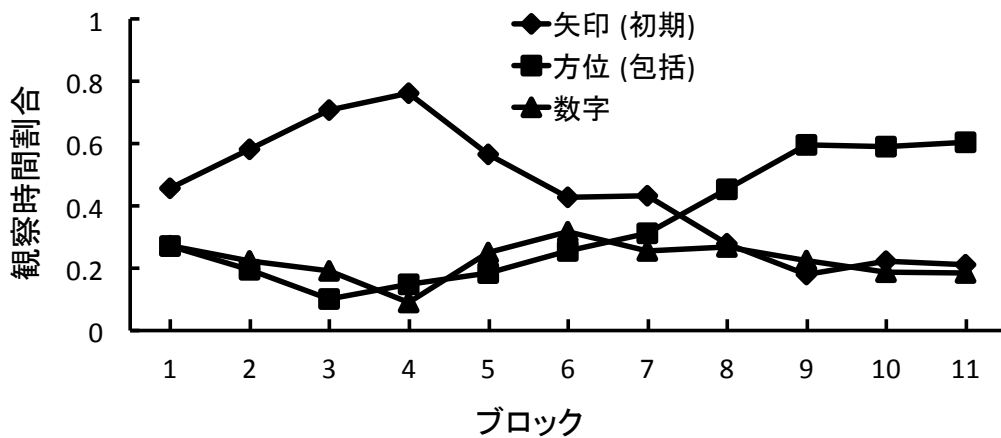


図 3.7 各ブロックにおける各パネルの観察時間の割合.

初期期間 (第1から第4ブロック) において増加し, 混在期間 (第5から第7ブロック) に入ると減少した。図 3.5 に示された初期規則の報告者の割合が, 参加者集団全体における初期規則の生成, 棄却の特性を示していると考えれば, 図 3.7 は, 参加者個人ごとに着目しても, ブロックの進行に従って, 初期機能に対応するパネルへの注意が, 増加, そして, 減少していることを示す。

続いて, 確認問題における1試行あたりの各パネルの合計観察時間を算出した。合計観察時間を従属変数とする1要因3水準 (パネル: 矢印, 方位, 数字) の参加者内分散分析を行った。その結果, パネル要因の主効果は認められなかった (矢印 $M = 10.90$ sec, $SD = 0.74$; 方位 $M = 11.24$ sec, $SD = 0.81$; 数字 $M = 12.30$ sec, $SD = 0.90$; $F(2, 24) = .830, p = .448, \eta_p^2 = .065$)。この結果から, 各パネルに対応する機能に依存して, 観察時間に違いが現れないことが示された。

次に, 本番問題における初期期間と混在期間の1事例あたりの各パネルの合計観察時間を算出した。初期期間の観察時間の算出にあたっては, 全ての参加者が初期規則を報告した第2ブロックから第4ブロックの眼球運動データが用いられた。また, 混在期間の観察時間の算出には, 第5ブロックから第7ブロックの眼球運動データが用いられた。合計観察時間の平均を図 3.8 に示す。合計観察時間を従属変数として, 2 (期間: 初期, 混在) \times 3

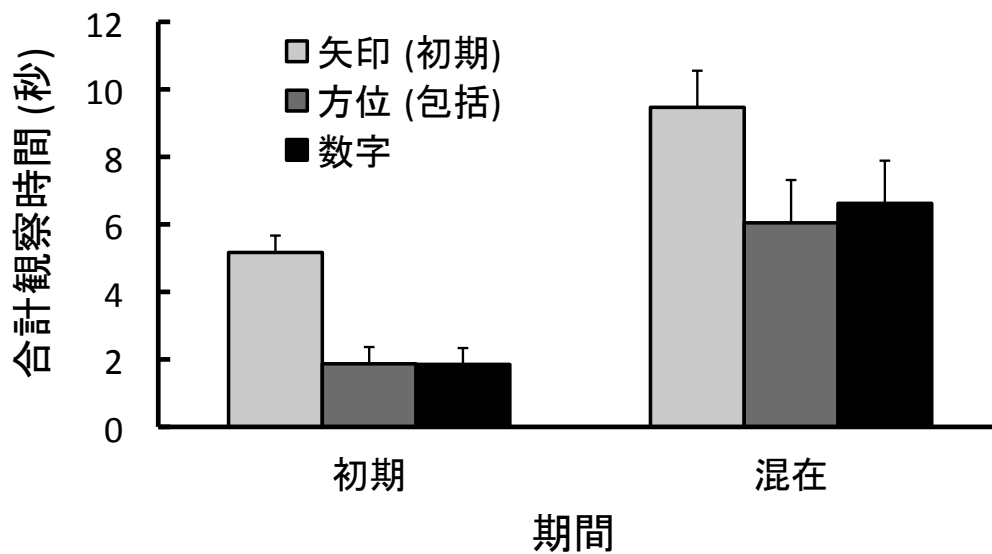


図 3.8 各期間における 1 試行あたりの各パネルの合計観察時間の平均。初期期間は第 2 ブロックから第 4 ブロックに、混在期間は第 5 ブロックから第 7 ブロックに含まれる事例を算出に用いた。

(パネル: 矢印, 方位, 数字) の参加者内分散分析を行った。期間要因の主効果が有意であった ($F(1, 12) = 17.351, p = .001, \eta_p^2 = .591$)。初期期間のほうが混在期間より観察時間が有意に短かった。また, パネル要因の主効果が有意であった ($F(2, 24) = 13.174, p < .001, \eta_p^2 = .523$)。多重比較の結果, 矢印パネルの観察時間が他の 2 種類のパネルの観察時間より有意に長かった (方位 $p = .005$; 数字 $p = .005$)。方位パネルと数字パネルの観察時間に差は検出されなかった ($p = 1.000$)。期間要因とパネル要因の交互作用は有意ではなかった ($F(2, 24) = .209, p = .813, \eta_p^2 = .017$)。交互作用が認められず, パネル要因の主効果が有意であったことは維持仮説に基づく予測と一致する。

維持仮説に基づく予測と一致する結果が得られたため, 初期機能を持つ規則の生成が続けられる原因に関する 2 種類の説明について, さらに検討を続ける。負事例が最初に観察される第 5 ブロックの第 2 試行から第 7 ブロックの第 5 試行までの全試行を負事例と正事例が提示された場合に分けて, 1 試行あたりの各パネルの観察時間の合計を算出した。合計観察時間の平均を図 3.9 に示す。合計観察時間を従属変数として, 2 (事例: 正, 負) \times 3 (パネル: 矢印, 方

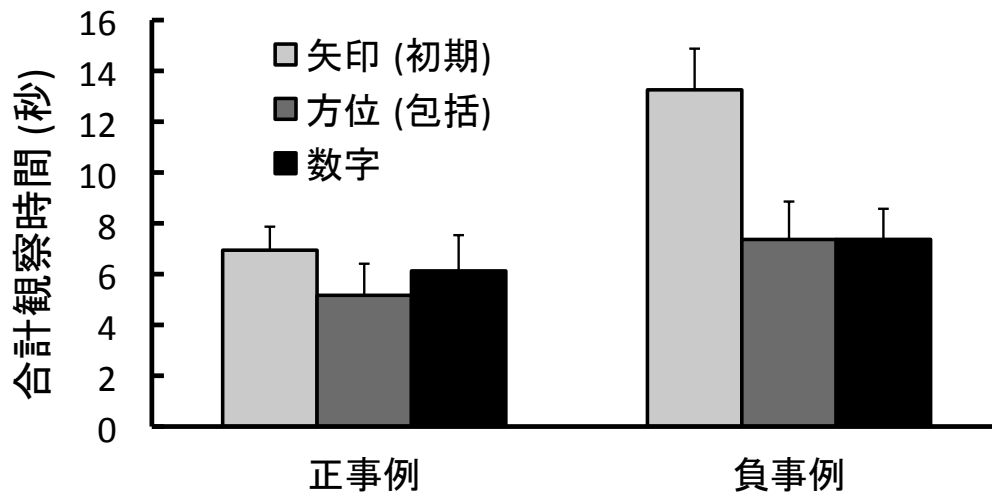


図 3.9 混在期間における正負の事例の 1 試行あたりの各パネルの合計観察時間の平均。第 5 ブロックの第 2 試行から第 7 ブロックの第 5 試行までの事例を算出に用いた。

位、数字) の参加者内分散分析を行った。その結果、事例要因とパネル要因の交互作用が有意であった ($F(2, 24) = 5.489, p = .011, \eta_p^2 = .314$)。正事例ではパネル要因の単純主効果は認められなかった ($F(2, 24) = 1.723, p = .200$)。一方、負事例ではパネル要因の単純主効果が有意であった ($F(2, 24) = 7.123, p = .007$)。多重比較の結果、初期機能に対応する矢印パネルの観察時間が、他の 2 種類のパネルの観察時間より有意 (傾向) に長かった (方位 $p = .067$; 数字 $p = .016$)。矢印パネル以外の 2 種類のパネルの観察時間に有意な差は認められなかった ($p = 1.000$)。なお、事例要因とパネル要因の主効果が有意であった (事例要因 $F(1, 12) = 57.298, p < .001, \eta_p^2 = .827$; パネル要因 $F(2, 24) = 6.139, p = .007, \eta_p^2 = .338$)。この結果は、参加者が負事例に対した時に、初期機能を持つ規則の生成を他の機能を持つ規則の生成に比して多く行ったことを示す。これは、混在期間において、参加者は負事例に直面した時に、初期規則の修正を行うため、初期機能を持つ規則の生成が続けられるという説明に基づき予測される結果と一致する。

最後に、上記の分析を包括規則の発見者と未発見者に分けて行った。図 3.10 に両群の正事例と負事例における各パネルの合計観察時間の平均を示す。発

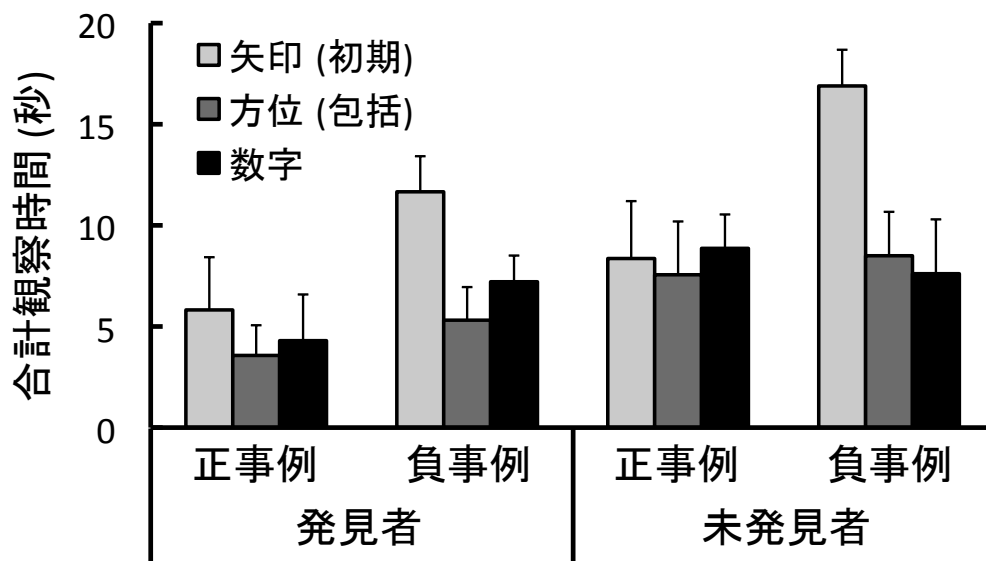


図 3.10 包括規則の発見，未発見者別の正負の事例における各パネルの合計観察時間の平均。

見者 (6 名), 未発見者 (7 名) のそれぞれにおいて, 2 (事例: 正, 負) \times 3 (パネル: 矢印, 方位, 数字) の参加者内分散分析を行った。その結果, 両群ともに, 事例要因とパネル要因の交互作用が有意であった (発見者 $F(2, 10) = 6.902, p = .013, \eta_p^2 = .580$; 未発見者 $F(2, 12) = 9.032, p = .004, \eta_p^2 = .601$)。両群ともに負事例におけるパネル要因の単純主効果が認められた (発見者 $F(2, 20) = 20.481, p < .001$; 未発見者 $F(2, 24) = 8.710, p = .001$)。多重比較の結果, 両群ともに初期機能に対応する矢印パネルの観察時間が, 他の 2 種類のパネルの観察時間より有意に長かった (発見者 方位 $p < .001$, 数字 $p < .001$; 未発見者 方位 $p < .001$, 数字 $p = .002$)。未発見者群では矢印パネル以外の 2 種類のパネルの観察時間に有意な差は認められなかった ($p = .721$)。発見者群では数字パネルのほうが方位パネルより観察時間が長い傾向があった ($p = .077$)。発見者群では事例とパネルの両要因の主効果が有意であった (事例要因 $F(1, 5) = 40.436, p = .001, \eta_p^2 = .890$; パネル要因 $F(2, 10) = 13.596, p = .001, \eta_p^2 = .731$)。未発見者群においては, 事例要因の主効果が有意で, パネル要因の主効果が有意傾向であった (事例要因 $F(1, 6) = 11.562, p = .014, \eta_p^2 = .658$; パネル要因 $F(2, 12) = 2.955, p = .090, \eta_p^2 = .330$)。

3.5.3 考察

実験2では、眼球運動データを用いて、混在期間において、参加者がどのように初期規則を棄却し、新たな規則を推論しているかを調べた。まず、初期期間と混在期間ともに初期機能である移動機能に対応する矢印パネルを他のパネルよりも長く観察した。この結果は、負事例に直面しても初期機能を持つ規則の生成が続けられるという維持仮説を支持する。さらに、混在期間において、参加者が負事例に直面した時には、初期機能に対応する矢印パネルの観察時間が他のパネルより有意に長かったが、正事例に直面した時には、各パネルの観察時間に差は認められなかった。これは、参加者が負事例に直面した時に、正事例に直面した時よりも初期機能を持つ規則の生成を行っていたことを示す。この結果から、混在期間において、初期機能を持つ規則を生成し続ける行動は、初期規則の修正を行うことにより、観察された負事例を説明しようとする行動として説明可能である。

3.6 研究2の考察

研究2では初期規則の棄却および新しい規則の推論中に規則の機能をどのように変更しているかについて検討した。実験1では報告規則から、正事例と負事例の混在する混在期間において、初期規則が徐々に棄却されることを確認した。研究2は、初期規則の真偽が不確定な混在期間において、初期規則が棄却される過程を調べることを目的とした。棄却の過程を調べるためには、実験参加者が初期規則を棄却するか否かを考える期間が必要である。よって、混在期間において、確定的に初期規則が棄却されないことを確かめたことは重要である。

実験2においては眼球運動データから、実験参加者が混在期間にどのような機能を持つ規則を生成しているかを同定し、移行仮説と維持仮説のいずれが支持されるかを検討した。移行仮説と維持仮説は初期機能の利用をやめる時期において対立する。移行仮説では1つの負事例により初期機能を用いた規則の推論をやめるとし、維持仮説では正事例と負事例が混在する状況でも初期機能を用いた規則の推論を続けるとする。実験の結果、混在期間においても初期期間と同様に、初期機能を持つ規則の生成が他の機能を持つ規則の生成と比較して長く行われた。このことから、正事例と負事例が混在する場面でも初期機能を持つ規則の生成が続けられるという維持仮説が支持される。その中でも、参加者は負事例が与えられた時には、初期機能を持つ規則の生成を他の機能を持つ規則の生成より長く行ったが、正事例が与えられた時には、各機能を持つ規則の生成を同程度に行っていた。この結果は、参加者が負事例に直面したときに、初期規則の改善や修正をしようとするために、初期機能を持つ規則の生成を多く行うという説明を支持する。この傾向は、包括規則の発見、未発見に関わらず、同様であった。

3.6.1 初期規則の維持

研究2は、あくまで実験参加者がどのような機能を持つ規則を生成しているかを分析の対象としているため、その間に彼らが具体的にどのような規則を考えているかは明らかではない。しかし、Chinn & Brewer (1993) の分類に基づいて、いくつかの可能性が検討できる。彼らは3種類の分類基準に基づき、参加者が自分の持つ理論に合わないデータに直面した際の7種類の反応を挙げている。以下で、研究2の参加者がいずれの反応をした可能性が高いか考察する。まず、直面したデータの妥当性を受け入れない、データの無視と拒否の2種類のいずれかの反応をした可能性がある。しかし、研究2では、実験の設定において事例の妥当性は保証されていたため、これらの可能性は否定される。次に、データを例外として扱う、または説明を保留するという、与えられたデータを説明しない2種類の反応のいずれかをした可能性があるが、これらもまた棄却される。まず、実験の設定上、参加者は全ての事例を説明することを求められたためである。さらに、仮にこの可能性が支持された場合、負事例においては事例の説明が放棄されるため、事例の観察時間が短くなると予測される。しかし、実験の結果、負事例では正事例よりも長い事例の観察時間が得られた。この結果も同様に参加者がデータの説明を試みていたことを示す。続いて、自分の持つ理論に合わせて、データを再解釈するという反応をした可能性がある。しかし、研究2の実験では、参加者は課題開始前に各パネルの利用法を十分に練習したため、この可能性も棄却される。

Chinn & Brewer (1993) は、さらに理論の周辺的な変更と根本的な変更の2種類の反応を挙げた。実験2の結果より、混在期間には初期機能を持つ規則の生成が続けられることが示されたため、これら2種類の反応は、それぞれ、初期規則の部分的な変更や付け足し、そして、初期機能を持つが初期規則とは全く異なる規則の生成にあたる。以下の理由により、実験参加者が初期規則を保持したまま、その部分的な変更や付け足しを行っていた可能性が最も高

いと考えられる。第1に、実験1,2ともに、多くの参加者が混在期間に入っても初期規則を報告していた。また、テストにおいても初期規則に基づく選択を行っていた。これは、混在期間においても参加者が初期規則を完全に棄却せず、保持し続けていたことを示す結果である。第2に、正事例よりも負事例において事例の観察時間が長かったことが挙げられる。もし、参加者が初期規則を棄却し、完全に新しい規則を生成しようとしているならば、初期規則が適用可能かどうかにより、事例の観察時間は影響されないはずである。つまり、正事例と負事例の観察時間に差が生じないと考えられる。正事例と負事例の観察時間の差は、参加者が初期規則を保持し、正事例においては初期規則が当てはまるため、規則の推論に時間をかけなかった可能性が高いことを示している。これらの結果より、参加者が初期規則を支持しない負事例においてのみ、初期規則に修正を加え事例の説明を試みたため、初期機能を持つ規則の生成が多くなったと考えられる。

3.6.2 先行研究との比較

寺井他 (2005) は、規則の発見のために生成する規則のタイプの変更が必要となる規則発見課題を用い、眼球運動の測定を行った。彼らの研究では、研究2の実験と同様に、正しい規則を発見するためには、実験参加者が始めに見つけた規則とは異なる考え方で規則を生成する必要があった。また、参加者が考え方を変えたことは眼球運動データに反映された。彼らは実験の結果、負事例に直面しても参加者の眼球運動のパターンに変化はなく、参加者が始めに見つけた規則と同様の考え方を続けたことを示した。さらに、正しい規則を発見した参加者は、正しい規則を発見できなかった参加者よりも、早い段階で異なる考え方で規則の生成を始めたことを示した。彼らの実験課題は、参加者がそれまでと異なる考え方を自ら見つける必要がある洞察的課題であった。一方、研究2の実験課題は、実験者により規則のタイプにあたる各機能が教示されている非洞察的な規則推論課題であった。この課題の違

いが存在したにも関わらず、両研究の結果は、負事例に直面しても、それまでの機能や考え方を引き継ぎ規則推論を続けるという点で一致している。研究2は、寺井他(2005)の結果を、異なる規則推論状況へ拡張している。

寺井他(2005)は、規則発見者のほうが未発見者よりも早く規則の考え方の切り替えに至った事を報告している。しかし、実験2の結果では、包括規則の発見者と未発見者の間に差は存在しなかった。これは、課題の違いに由来すると考えられる。寺井他(2005)の使用した課題は洞察的課題であったため、過去の経験や課題画面の構造から始めの考え方に強い固着が生じた。それと比較すると、研究2に用いられた課題は、初期機能への注目が弱く、規則の生成に用いる機能を切り替えることが容易である。さらに、他の機能(位置、順番)の利用可能性が、パネルの表示という形で示されていることにより、機能の変更はさらに容易となる。そのため、規則発見群と未発見群との差が検出されなかった可能性がある。

研究2の結果は、カテゴリー学習における注意の学習モデルに基づく説明を支持しなかった。カテゴリー学習において注意を向ける特徴を変更することは、どのような分類規則を生成するかを変更することにつながる。そのため、カテゴリー学習において注意を向ける特徴を変更することは、研究2の規則推論課題において異なる機能を持つ規則の生成を始めることと対応していると考えられる。しかし、各機能を持つ規則の数において、生成可能な規則数は研究2とカテゴリー学習の間で大きく異なる。カテゴリー学習では、色や形などの特徴の値と分類カテゴリーが直接的に対応しているため、ある特徴から生成可能な分類規則は少ない。現在の規則への負のフィードバックは、それが1回だけであっても注意を向けている特徴を用いて生成できる規則の大部分を否定し、その特徴の利用可能性を著しく損なう。それゆえ、実験参加者は負事例に直面すると他の特徴へと注意を移行する。一方、研究2の実験課題においては、各機能を持つ様々な規則を考えることが可能であった。現在の規則が否定されたとしても、その規則を部分的に修正したり、同

じ機能を持つ異なる規則を生成したりすることが可能なため、その機能の利用可能性が大きく損なわれることはない。よって、研究2では、カテゴリー学習で見られる、負事例に直面した際の注意のシフトは起こらなかったと考えられる。

第4章

総合考察

4.1 研究の概要

始めに、本論文で述べた2種類の研究の内容と実験の結果をまとめる。

第2章で述べた研究1では、WMCと規則推論の関係が調べられた。実験の結果、WMCの大小は規則推論における事例の比較を行う頻度に影響することが示された。WMCが大きい参加者は、WMCの小さい参加者に比べ、事例の比較を頻繁に行った。これは、情報の保持量の差異に起因すると考えられる。一方、各機能を持つ規則の生成を続ける時間はWMCの大小に影響されなかった。この結果により、WMCの大きい参加者のほうが注意をコントロールする能力が高いため、同じ機能を持つ規則を生成することに集中し続けることができるだろうという仮説は棄却された。

第3章で述べた研究2では、初期規則に対する正事例と負事例が混在する状況において、初期規則の持つ初期機能が規則推論にどのように用いられるかを検討した。初期規則を発見すると、参加者は初期機能に関連する特徴へと注意を偏らせた。正事例と負事例が混在する状況に入っても、この偏りは維持され、初期機能を持つ規則の生成が続けられていたことが示された。さらに、混在期間の正事例と負事例を比較した結果、負事例においてのみ、初期機能を持つ規則の生成が他の機能を持つ規則の生成より多く行われた。以上の結果は、参加者が負事例に直面しても、それまで利用していた初期機能

を即座に棄却することはないことを示す。これは，正事例と負事例の違いから，彼らが負事例に直面した際に，初期規則を修正するために初期機能を持つ規則の生成を行っていたためであると考えられる。これらの傾向は，全ての事例を説明可能な正しい規則の発見，未発見に関わらず同様であった。

4.2 研究の結果と規則推論プロセス

以上の結果から得られる知見を，第1章に示した規則推論のプロセスとその情報の流れを用い示す。次ページの図4.1に規則推論のプロセスとその情報の流れを再掲する。本節の内容と関連が深い部分を赤く色付けし，説明のために幾つかの矢印にアルファベットを振ってある。以降で，各結果と規則推論プロセスにおける情報の流れの関係について考察を行う。

4.2.1 事例の観察

研究1で得られた第1の結果は，WMCの大小による事例の比較を行う頻度の差異である。そのような差異は，図4.1における事例と正しいクラスからスロットの割り当てへの矢印aで表される情報の流れに影響すると考えられる。特に，その情報の流れにより伝えられる情報の有用性に差異が生じているだろう。Klauer (1996) は，事例の比較を通し，その共通点や相違点を見つけることにより規則の推論が促進されるとしている (cf. Christou & Papageorgiou, 2007; Dixon & Bangert, 2004)。1つの事例に基づき規則の推論を行うと，そのような情報を得ることができない。WMCが大きい参加者は，事例の比較を頻繁に行うことにより規則の推論のために有益な，事例間の共通点や相違点に気づくことができ，それを図4.1の矢印aで表される情報の流れを通し，スロットの割り当てに利用できたと考えられる。また，このように有用な情報を得られたため，WMCが大きい参加者は，WMCが小さい参加者よりも良い規則推論の成績を残すことができた可能性がある。

事例から得られる情報の差異を生み出す要因となるものはWMC以外にも存在する。例えば，Williams & Lombrozo (2010) は，カテゴリー規則の学習において，事例の観察をしながら，実験群の参加者には何故その事例があるカテゴリーに所属するのかを説明させ，統制群の参加者には事例の特徴を挙げさせた。その結果，単に特徴を挙げた統制群の参加者は発見が容易だが，事

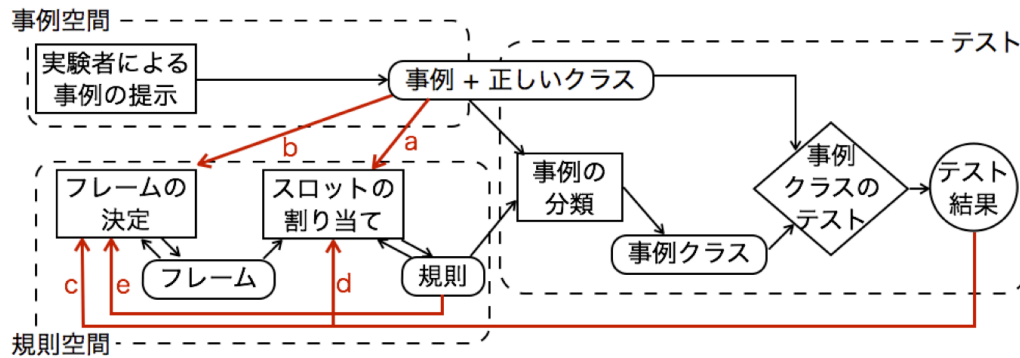


図 4.1 規則推論のプロセスとその情報の流れ。

例の一部が説明できない規則を回答したのに対し、説明を行った実験群の参加者は全ての事例を説明できる正しい規則に到達できた。この結果も同様に、事例の観察方略により、事例から得られる情報の規則推論に対する有用性が異なることを示す。事例の比較も説明も、事例間の共通点や相違点を抽出するという点で共通している。よって、事例と正しいクラスからスロットの割り当てへの情報の流れ (図 4.1 矢印 a) では、その情報の質、特に、事例の共通点や相違点を見いだすことが規則の推論において重要となることが示唆される。

さらに、研究 2 では、全ての事例に初期規則が適用可能な期間と、初期規則に対する正事例と負事例が混在する期間において、事例の観察時間に差異が存在した。初期規則が適用可能な期間より、正負の事例が混在する期間のほうが 1 つの事例の合計観察時間が長かった。この結果は、初期規則を発見すると、初期規則のテストが参加者の活動の中心となり、事例から規則空間の探索への情報の流れ (図 4.1 矢印 a, b) は小さくなることを示す。さらに、初期機能以外の機能に対応する特徴の観察は、非常に短い時間しか行われなかった。これは、Wason の 2-4-6 課題などを用い示された、現在の規則に沿う証拠を集めようとする確証バイアスにより説明される (Mynatt, Doherty, & Tweney, 1978; Wason, 1960)。観察により得られた事例に基づく規則推論においても、情報の選択に確証バイアスが働き、参加者は初期規則のテストに用

いられる情報のみを観察したといえる。

4.2.2 テスト結果と規則空間の探索

研究2で検討された負事例の影響は、図4.1中のテスト結果から始まる情報の流れ(矢印c, d)に表れ、ついで、事例から規則空間の探索への情報の流れ(矢印a, b)に表れる。まず、負事例に直面することにより、それまで初期規則を支持するテスト結果のみを伝えていたテスト結果からの情報の流れ(図4.1矢印c, d)において、初期規則を支持しないテスト結果が伝えられる。先述の通り、参加者は負事例に直面すると、事例の観察を長く行うようになる。初期期間では初期規則のテストのみを行っていたのに対し、初期規則を支持しないテスト結果を得たことにより、事例とその正しいクラスから規則空間の探索への情報の流れ(矢印a, b)が再び活発になったことを示す。この点は、先行研究により示された反証の効果と一致する(Kareev et al., 1993; Klayman & Ha, 1987; Wason, 1960)。参加者は初期期間では、初期規則が適用可能であるという証拠のみを観察し、他の可能性を考えない。しかし、初期規則を支持しないテスト結果が得られると、新たな規則を考えはじめる。つまり、テスト結果に基づき、事例から規則空間の探索へと伝えられる情報の量(図4.1矢印a, b)が変更される。

さらに、正事例と負事例の混在は、初期機能以外の機能を持つ規則の生成ではなく、初期規則の部分的な修正を引き起こした。本論文の研究1, 2において規則の機能はどのような規則を生成するか、つまり、規則のフレームを規定するため、規則の機能の決定は規則のフレームの決定と対応する。実験参加者は負事例に直面しても初期機能を持つ規則の生成を続けるという実験結果は、規則のテストの結果がスロットの割り当てへと大きく影響し(図4.1矢印d)、規則のフレームの決定への影響は即時的ではない(図4.1矢印c)ことを示す。一方で、混在期間における正事例の観察では各機能を持つ規則の生成時間に差異は認められなかった。これは、フレームの変更を即座に引き起

こさないものの、テスト結果から規則のフレームの決定への情報の流れ (図 4.1 矢印 c) も存在していたことを示している。まとめると、テストの結果が現在の規則を支持しない情報を伝える (図 4.1 矢印 c, d)。このフィードバックにより、参加者は初期規則を修正する形で、負事例に対応しようとするが (図 4.1 矢印 d)、同時に初期機能ほどではないが他の機能を持つ規則の生成も始めた (図 4.1 矢印 c) と考えられる。

4.2.3 フレームの決定

本論文で示した研究は、主に上記の事例およびテスト結果から始まる情報の流れ (図 4.1 矢印 a, b と矢印 c, d) について調べているが、それらの結果は規則のフレームの決定についていくつかの可能性を示す。第 1 に、生成された規則が規則のフレームの決定に影響を与える可能性を示す。これは図 4.1 の規則からフレームの決定への情報の流れ (矢印 e) にあたる。実際にはテスト結果とともに利用され、生成された規則がテストを通して支持されたか否かが、現在の規則のフレームを利用し続けるか棄却するか決定に影響すると考えられる。規則のフレームはどのような規則を生成するかという、抽象的な規則の枠組みを指し、直接的にテストすることができない。そのため、この規則とテスト結果からの情報の流れにより規則のフレームの決定に必要な情報が伝えられていたと考えられる。実際に、初期規則が支持されることにより、初期機能に関連する特徴の観察が重点的に行われるようになったことから、生成された規則が規則のフレームの決定に影響することが示される。しかし、初期規則が支持されなかった場合でも、初期機能を持つ規則の生成が多く行われた。生成された規則と規則のフレームの決定の関係については、更なる検討が必要である。

第 2 に、事例とその正しいクラスからフレームの決定への情報の流れ (図 4.1 矢印 b) の存在についての可能性を示す。本論文の研究において、この情報の流れが存在したか否かは判断できない。しかし、課題の状況から、存在

しない、または、存在したとしても、あまり影響を持たないだろうと考えられる。実験参加者が事例の生成を行うことができなかったためである。もし、参加者が実験を行うことが可能であれば、要因の操作により正しい規則のフレームを絞り込むことが可能である。例えば、本研究に用いられた課題で、一度に1つの要因（パネルの内容）のみを変更する VOTAT という実験方略 (Chen & Klahr, 1999; Tschirgi, 1980) を使用すれば、2回の実験を行うだけでどのパネルが規則に利用されるかが明らかとなる。つまり、具体的な規則のテストを通さずとも、事例や実験の結果からいずれのフレームを使用すべきかを判断可能である。しかし、参加者が事例を生成できない場合は、そのような方略を使用することができない。よって、具体的な規則のテストを通してしか、規則のフレームの利用可能性を見積もることができない。つまり、図 4.1 の矢印 b により、フレームの決定に有益な情報が伝えられない。この点が、観察による事例の獲得と実験を通した事例の獲得の大きな差異であると考えられる。Klahr & Dunbar (1988) は、具体的な仮説を持たずに実験を行う参加者は、実験の結果からデータ駆動で規則を発見しようとしているとした。しかし、実際には上記のような規則のフレームの決定を目的とする実験も多く含まれていたと考えられる。このような点を含め、実験による事例の獲得と観察による事例の獲得のそれぞれにおける、規則のフレームの決定の共通点や相違点を明らかにしていく必要がある。

第5章

結論

本論文では、帰納的推論の一種である観察により得られた事例に基づく規則推論を対象とし、研究を行った。始めに、本論文の内容の総括を行う。続いて、本研究で用いられた研究法の利点を挙げ、最後に、研究1, 2より得られた新しい知見と今後の課題をまとめる。

第1章では、Simon & Lea (1974) の規則推論の情報処理システムの枠組みである GRI と Klahr & Dunbar (1988) による科学的発見のモデルである SDDS モデルに基づき、本論文の対象となる状況の規則推論のプロセスとその情報の流れを明確にし、本論文の目的を説明した。それらの先行研究から、規則推論の過程を知るためには、推論における規則のフレームを追うことが重要であることを示した。また、規則のフレームの取得に眼球運動データを利用する利点を挙げ、そのために開発した課題を説明した。

第2章において、規則推論への WMC の影響を検討した研究1を示した。WMC の異なる2群の規則推論の過程を比較することにより、以下の仮説の検証を行った。WMC が大きい参加者は WMC が小さい参加者と比べて以下の3点が異なるという仮説をたてた。第1に、先行研究同様、規則発見の成績が良い、第2に、事例の比較を頻繁に行う方略をとる、第3に、各機能を持つ規則の生成をそれぞれ長く続けるという仮説である。実験の結果、規則発見の成績と事例の比較の頻度に、第1, 2の仮説を支持する WMC の大小による差異

が存在したが、各機能を持つ規則の生成の継続時間には、第3の仮説を支持するWMCの大小による差異は認められなかった。以上の結果から、WMCの大小に基づく事例の観察方略の違いが、WMCの規則推論の成績への影響を説明する可能性が示唆された。

第3章では、初期規則に対する正事例と負事例が混在する状況における、規則の機能の変更について検討を行った研究2を示した。実験の結果、そのような混在期間でも、初期規則の機能である初期機能を持つ規則の生成が、他の機能を持つ規則の生成に比べ長く行われることが示された。さらに、そのような差異は、負事例に直面したときに顕著となり、正事例では各機能を持つ規則の生成時間に差異は認められなかった。以上の結果から、初期機能を持つ規則の生成は、負事例に直面した際に、初期規則を部分的に修正するために行われていたと考えられる。また、これらの傾向は、全事例を説明可能な正しい規則を発見したかどうかに関わらず、同様であった。

第4章において、研究1, 2から得られた知見を、第1章にて挙げた規則推論のプロセスにおける情報の流れを用い説明した。WMCの差異は、事例から得られる情報の規則推論への有用性に影響する。また、負事例により初期機能を持つ規則の生成、つまりそれまで用いられていた規則のフレームを用いた規則生成が即座に中断されないのは、テスト結果からの情報の流れに起因する。テスト結果はスロットの割り当て、つまり、同じ規則のフレームを用いた規則の生成に直接的に影響し、規則のフレームの決定へ影響するには結果の蓄積が必要であると考えられる。さらに、規則のフレームの決定がどのようなになされるかを考察した。

研究1, 2において眼球運動データを用いて分析を行ったことにより、各機能を持つ規則を生成した時間を参加者間および参加者内で比較することに成功した。これは、課題中の注視点とその時点で生成されている規則の持つ機能を対応させることにより、観察時間という比例尺度を分析対象としたため可能であった。従来用いられてきた言語報告に基づく分析では、このような

比較は困難である。それらの分析では、ある規則の報告があったか、また、実験参加者がどのような方略を利用したか等に基づいた、名義尺度データが中心となる。名義尺度データは、参加者全体における割合の分析には有用だが、参加者個人に着目した複数の要因の交互作用の分析には適していない。一方で、眼球運動データを用いると、言語化困難な思考や短い思考も時間的粒度を高く取得することが可能である。この特性により、比例尺度である観察時間を、各機能を持つ規則を生成した時間と対応づけることが可能となった。本論文で用いた手法を用いることにより、今後様々な検討が可能となるだろう。

また、本論文では GRI (Simon & Lea, 1974) と SDDS モデル (Klahr & Dunbar, 1988) に基づき、事例に基づく規則推論を説明するプロセスとその情報の流れを構築した。このプロセスと情報の流れは、規則推論に関する多くの研究を体系立てて整理するために利用可能である。

本論文で示した研究で得られた結果は、規則推論の研究に2種類の新しい知見を加える。第1に、規則推論において事例を観察する方略の個人差を示した。これは、事例からスロットの割り当てへの情報の流れの個人差にあたる。多くの先行研究は規則推論の過程を経て導かれた規則の内容を分析の中心としていたため、WMCの大小が規則推論の過程へどのように影響するか検討したことは重要な点である。本論文の研究1では、WMCが小さい参加者と比較して、WMCの大きい参加者は事例の比較を頻繁に行うことが明らかとされた。さらに、WMCの大きい参加者のほうが、規則発見の成績が良かった。いくつかの先行研究は事例の共通点や相違点を見つけることが規則性の発見につながることを示している (Klauer, 1996; Christou & Papageorgiou, 2007; Dixon & Bangert, 2004; Williams & Lombrozo, 2010)。これらの知見と研究1の結果をあわせると、規則推論のサポートのためには、情報の保持を助け、事例の比較等により事例間の共通点や相違点に着目させることが重要である。

第2に、正事例と負事例が混在する状況における、初期規則のフレームを用

いた推論について明らかにした。参加者は混在期間においても、初期規則のフレームを用いた推論を他のフレームを用いた推論より多く行った。この結果は、先行研究において言語報告で示された結果を支持する (Chinn & Brewer, 1993; Mason, 2001)。先行研究においては断片的な報告であったため、初期規則を保持し続けていることを示すのみであったが、本研究では、報告に至るまでの過程においても、初期規則と同様のフレームが多く用いられていることを示した。

本論文で示した研究では、眼球運動測定を用いて、決定された規則のフレームに基づき事例の観察を行うフェーズを取得している。そのため、各規則のフレームの規則推論への有効性がどのように見積もられているのか、また、どのようなタイミングで規則のフレームを切り換えるのかについては検討が不十分である。第4章で述べた通り、フレームの利用可能性は、各フレームを用いて生成された規則のテストの結果に基づき決定されていると考えられる。Nelson & Cottrell (2007) はカテゴリー学習における眼球運動について、ベイズ統計を用い、新しい事例の観察により各特徴への注意がどのように変化するかを確率的に説明している。参加者の全ての規則の生成を取得することは非常に困難であるため、フレームの利用可能性についても、同様に、数理モデルやシミュレーションによる検討が必要である。

以上の通り、本論文では2つの研究を通し、眼球運動測定を用いることにより、規則推論の個人差と、状況による個人内の変化を明らかにした。特に、規則推論における規則のフレームに注目した。個人差として取り上げたWMCの大小は、推論中の規則のフレームには影響が認められず、事例の観察方略にのみ影響した。また、状況の変化として現在の規則に対する負事例に直面した際の、個人内の推論の変化について検討した。結果として、実験参加者は正事例に混在して負事例に直面しても、主にそれまで用いていた規則のフレームを用いて規則を推論し続けた。ただし、主に用いられる規則のフレームは変化しなくとも、他の規則のフレームを用いる時間が増加するなど、規

則のフレームの利用に変化が起こっていた。これらの研究の結果は、個人差よりも状況の変化により規則推論における各規則のフレームの利用が変化する可能性を示す。参加者が規則のフレームをいつ、どのように変更するかについて今後の検討が期待される。

謝辞

本研究を遂行し、学位論文をまとめるにあたり、多くの方々からいただきました支援に、この場をかりて深く感謝の意を表します。

本研究の始めより、全ての過程におきまして終始熱心なご指導をいただきました、名古屋大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 認知情報論講座の三輪和久教授に心より感謝を申し上げます。

名古屋大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 認知情報論講座の齋藤洋典教授、名古屋大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 認知情報論講座の川合伸幸准教授、名古屋大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 音声映像科学講座の村瀬洋教授、名古屋大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 知能メディア工学講座の工藤博章准教授には、研究を進める上で大変貴重なご助言を賜りましたことを心より感謝致します。

名古屋大学大学院 情報科学研究科の寺井仁特任准教授、名古屋大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 認知情報論講座の光松秀倫助教には、研究をまとめ上げていくうえでご指導いただきました。ここに謹んで御礼を申し上げます。

名古屋大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 認知情報論講座の皆様また、卒業生の皆様には、ゼミ活動等を通して、日頃より有益な討論および多数のご助言を頂きました。ここに謹んで御礼を申し上げます。また、研究を進めるにあたり、実験参加をご了承いただきました名古屋大学の学生の皆様に御礼を申し上げます。

最後に、これまで全面的に支えてくださった家族および友人に、心より感

謝致します。

引用文献

- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought and action*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- (バドリー, A. D. 井関龍太・齊藤智・川崎恵里子 (監訳) (2012). *ワーキングメモリ思考と行為の心理学的基盤* 誠信書房)
- Blair, M. R., Watson, M. R., Walshe, R. C., & Maj, F. (2009). Extremely selective attention: Eye-tracking studies of the dynamic allocation of attention to stimulus features in categorization. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **35**, 1196–1206.
- Bower, G., & Trabasso, T. R. (1964). Concept identification. In R. C. Atkinson (Ed.), *Studies in mathematical psychology*. Stanford, CA: Stanford Univ. Press, pp. 32–94.
- Chein, J. M., Weisberg, R. W., Streeter, N. L., & Kwok, S. (2010). Working memory and insight in the nine-dot problem. *Memory & Cognition*, **38**, 883–892.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, **70**, 1098–1120.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, **63**, 1–49.
- Christou, C., & Papageorgiou, E. (2007). A framework of mathematics inductive reasoning. *Learning and Instruction*, **17**, 55–66.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., &

- Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, **12**, 769–786.
- Dixon, J. A., & Bangert, A. S. (2004). On the spontaneous discovery of a mathematical relation during problem solving. *Cognitive Science*, **28**, 433–449.
- Dougherty, M. R. P., & Hunter, J. E. (2003). Hypothesis generation, probability judgment, and individual differences in working memory capacity. *Acta Psychologica*, **113**, 263–282.
- Dunbar, K. (1995). How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In R. J. Sternberg, & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight*. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 365–395.
- Grant, E. R., & Spivey, M. J. (2003). Eye movements and problem solving: Guiding attention guides thought. *Psychological Science*, **14**, 462–466.
- Gregg, L. W., & Simon, H. A. (1967). Process models and stochastic theories of simple concept formation. *Journal of Mathematical Psychology*, **4**, 246–276.
- Haverty, L. A., Koedinger, K. R., Klahr, D., & Alibali, M. W. (2000). Solving inductive reasoning problems in mathematics: Not-so-trivial pursuit. *Cognitive Science*, **24**, 249–298.
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E., & Thagard, P. R. (1986). *Induction: Processes of inference, learning and discovery*. Cambridge, MA: MIT Press.
- (ホランド J. H. ホリオーク K. J. ニスベット R. E. & サガード P. R. 市川伸一他 (監訳) (1991). インダクシヨン—推論・学習・発見の統合理論へ向けて 新曜社)
- 市川伸一 (1997). 考えることの科学—推論の認知心理学への招待— 中央公論新社.
- Imai, M., Haryu, E., & Okada, H. (2005). Mapping novel nouns and verbs onto dynamic action events: Are verb meanings easier to learn than noun meanings for japanese children. *Child Development*, **76**, 340–355.

- Jarosz, A. F., & Wiley, J. (2012). Why does working memory capacity predict rapid performance? A possible role of distraction. *Intelligence*, **40**, 427–438.
- Johnson-Laird, P. N. (1999). Deductive reasoning. *Annual Review of Psychology*, **50**, 109–135.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, **132**, 47–70.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, **130**, 169–183.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, **133**, 189–217.
- Kareev, Y., Halberstadt, N., & Shafir, D. (1993). Improving performance and increasing the use of non-positive testing in a rule-discovery task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, **46**, 729–742.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, **12**, 1–48.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Klauer, K. J. (1996). Teaching inductive reasoning: Some theory and three experimental studies. *Learning and Instruction*, **6**, 37–57.
- Klayman, J., & Ha, Y. W. (1987). Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, **94**, 211–228.
- Knoblich, G., Ohlsson, S., & Raney, G. E. (2001). An eye movement study of insight problem solving. *Memory & Cognition*, **29**, 1000–1009.

- Kruschke, J. K. (1992). Alcové: An exemplar-based connectionist model of category learning. *Psychological Review*, **99**, 22–44.
- Kruschke, J. K. (2003). Attention in learning. *Current Directions in Psychological Science*, **12**, 171–175.
- Kruschke, J. K., Kappenman, E. S., & Hetrick, W. P. (2005). Eye gaze and individual differences consistent with learned attention in associative blocking and highlighting. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **31**, 830–845.
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- (クーン, T. S. 中山茂 (監訳) (1962). 科学革命の構造 みすず書房)
- 楠見孝 (1996). 帰納的推論と批判的思考 市川伸一 (編) 認知心理学 4 思考 東京大学出版会 pp. 37–60.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?!. *Intelligence*, **14**, 389–433.
- Langley, P. (1981). Data-driven discovery of physical laws. *Cognitive Science*, **5**, 31–54.
- Le Pelley, M. E., Beesley, T., & Griffiths, O. (2011). Overt attention and predictiveness in human contingency learning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **37**, 220–229.
- Lien, Y. W., & Lin, W. L. (2011). From falsification to generating an alternative hypothesis: Exploring the role of the new-perspective hypothesis in successful 2-4-6 task performance. *Thinking & Reasoning*, **17**, 105–136.
- Markovits, H., & Schmeltzer, C. (2007). What makes people revise their beliefs following contradictory anecdotal evidence?: The role of systemic variability and direct experience. *Cognitive Science*, **31**, 535–547.
- Mason, L. (2001). Responses to anomalous data on controversial topics and theory

- change. *Learning and Instruction*, **11**, 453–483.
- 松林翔太・寺井仁・三輪和久 (2011). 文章洞察問題を用いた再解釈と説明に関する実験的検討 日本認知科学会第28回大会発表論文集, 658–663.
(Matsubayashi, S., Terai, H., & Miwa, K.)
- McVay, J. C., & Kane, M. J. (2009). Conducting the train of thought: Working memory capacity, goal neglect, and mind wandering in an executive-control task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **35**, 196–204.
- Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. In P. H. Winston, & B. Horn (Eds.), *The psychology of computer vision*. New York, NY: McGraw-Hill, pp. 211–277.
- Mynatt, C. R., Doherty, M. E., & Tweney, R. D. (1977). Confirmation bias in a simulated research environment: An experimental study of scientific inference. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **29**, 85–95.
- Mynatt, C. R., Doherty, M. E., & Tweney, R. D. (1978). Consequences of confirmation and disconfirmation in a simulated research environment. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **30**, 395–406.
- 中島伸子 (1997). ルール修正に及ぼす反例遭遇経験の役割—理論の節約性に関するメタ知識の教授の効果— 教育心理学研究, **45**, 263–273.
(Nakajima, N. (1997). The role of counterevidence in rule revision: The effects of instructing metaknowledge concerning non adhocness of theory. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **45**, 263–273.)
- Nelson, J. D., & Cottrell, G. W. (2007). A probabilistic model of eye movements in concept formation. *Neurocomputing*, **70**, 2256–2272.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Oberauer, K., Lange, E., & Engle, R. W. (2004). Working memory capacity and

- resistance to interference. *Journal of Memory and Language*, **51**, 80–96.
- Popper, K. (1992). *The logic of scientific discovery*. London, UK: Routledge.
- Qin, Y., & Simon, H. A. (1990). Laboratory replication of scientific discovery processes. *Cognitive Science*, **14**, 281–312.
- Rehder, B., & Hoffman, A. B. (2005). Eyetracking and selective attention in category learning. *Cognitive Psychology*, **51**, 1–41.
- Schunn, C. D., & Reder, L. M. (2001). Another source of individual differences: Strategy adaptivity to changing rates of success. *Journal of Experimental Psychology: General*, **130**, 59–76.
- Schunn, C. D., Lovett, M. C., & Reder, L. M. (2001). Awareness and working memory in strategy adaptivity. *Memory & Cognition*, **29**, 254–266.
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, **125**, 4–27.
- Simon, H. A., & Lea, G. (1974). Problem solving and rule induction: A unified view. In L. W. Gregg (Ed.), *Knowledge and cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 105–127.
- Süß, H.-M., Oberauer, K., Wittmann, W. W., Wilhelm, O., & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability — and a little bit more. *Intelligence*, **30**, 261–288.
- 寺井仁・三輪和久・古賀一男 (2005). 仮説空間とデータ空間の探索から見た洞察問題解決過程 認知科学, **12**, 74–88.
- (Terai, H., Miwa K., & Koga, K. (2005). Insight problem solving from the viewpoint of searches for hypothesis and data spaces. *Cognitive Studies*, **12**, 74–88.)
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child*

Development, **51**, 1–10.

Waldmann, M. R., & Holyoak, K. J. (1992). Predictive and diagnostic learning within causal models: Asymmetries in cue competition. *Journal of Experimental Psychology: General*, **121**, 222–236.

Wason, P. C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **12**, 129–140.

Williams, J. J., & Lombrozo, T. (2010). The role of explanation in discovery and generalization: Evidence from category learning. *Cognitive Science*, **34**, 776–806.

関連論文

学術誌掲載論文

- 松室美紀・三輪和久 (2014). 正・負事例の混在場面における規則発見 心理学研究, **85**, 40–49.
- 松室美紀・三輪和久 (2014). 作動記憶容量が帰納的規則推論に与える影響に関する実験的検討 認知心理学研究, **12**, 27–35.

国際会議

- Matsumuro, M., & Miwa, K., (2011). An investigation of search strategies for hypothesis generation using eye movement data. *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 3424–3429.
- Matsumuro, M., & Miwa, K., (2012). Investigation of effects of working memory capacity on rule discovery process using eye movement data. *Proceedings of the 34th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 1984–1989.
- Matsumuro, M., & Miwa, K., (2013). Effect of positive and negative instances on rule discovery: Investigation using eye tracking. *Proceedings of the 35th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 2990–2995.

国内会議・研究会

- 松室美紀・三輪和久 (2011). 眼球運動を用いた仮説生成における探索方略の検討 日本認知科学会第28回大会発表論文集, 664–669.
- 松室美紀・三輪和久 (2011). 仮説生成における眼球運動を用いた探索方略の検討 日本認知心理学会第9回大会発表論文集, 81.
- 松室美紀・三輪和久 (2012). 眼球運動データを用いた規則発見過程の検討 日本認知科学会第29回大会発表論文集, 536–539.

受賞

- 日本認知科学会第28回大会 大会発表賞
松室美紀・三輪和久 (2012). 眼球運動を用いた仮説生成における探索方略の検討 認知科学, **19**, 258–261.

その他の論文

学術誌掲載論文

- 三輪和久・寺井仁・松室美紀・前東晃礼 (2014). 学習支援の提供と保留のジレンマ解消問題 教育心理学研究, **62**, 156–167.

国際会議

- Matsumuro, M., & Miwa, K., (2010). Effects of goal specificity on a search in a hypothesis space and an instance space. *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 766–771.
- Matsumuro, M., Miwa, K., Terai, H., & Yamada, K. (2014). Dual process in large number estimation under uncertainty. *Proceedings of the 36th Annual*

Conference of the Cognitive Science Society, 2621–2626.

国内会議・研究会

- 松室美紀・三輪和久 (2009). 発見における理論確立指向性と課題達成指向性の決定要因 日本認知科学会第26回大会発表論文集, 290–291.
- 松室美紀・三輪和久 (2010). 仮説/事例空間探索にゴールの明確性が及ぼす効果の検討 日本認知科学会第27回大会発表論文集, 206–210.
- 松室美紀・三輪和久 (2009). 仮説/事例空間探索の指向性に対するゴール効果の検討 人工知能学会第57回先進的科学与工学研究会資料, **SIG-ALST-A902**, 27–34.
- 山田賢人・松室美紀・寺井仁・三輪和久 (2013). 不確実性を伴う値の推定プロセスに関する実験的検討 人工知能学会第70回先進的科学与工学研究会資料, **SIG-ALST-B303**, 55–60.

会議報告

- 森田純哉・本田秀仁・前東晃礼・松室美紀・住久美穂 (2011). 33rd annual meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2011) 報告 認知科学, **18**, 638–642.

付録 A

Klahr & Dunbar (1988) による仮説空間の表現

図 A.1 に Klahr & Dunbar (1988) による，仮説空間の表現を引用する。彼らの実験では，参加者は，プログラム中の“RPT (repeat)” コマンドの機能を見つけることを目標とした。規則のフレームは，引数の役割 (NROLE)，繰り返しの回数 (NREPS)，繰り返しのまとまり (UNIT)，どこから繰り返すか (BOUNDS) の4スロットにより構成される。

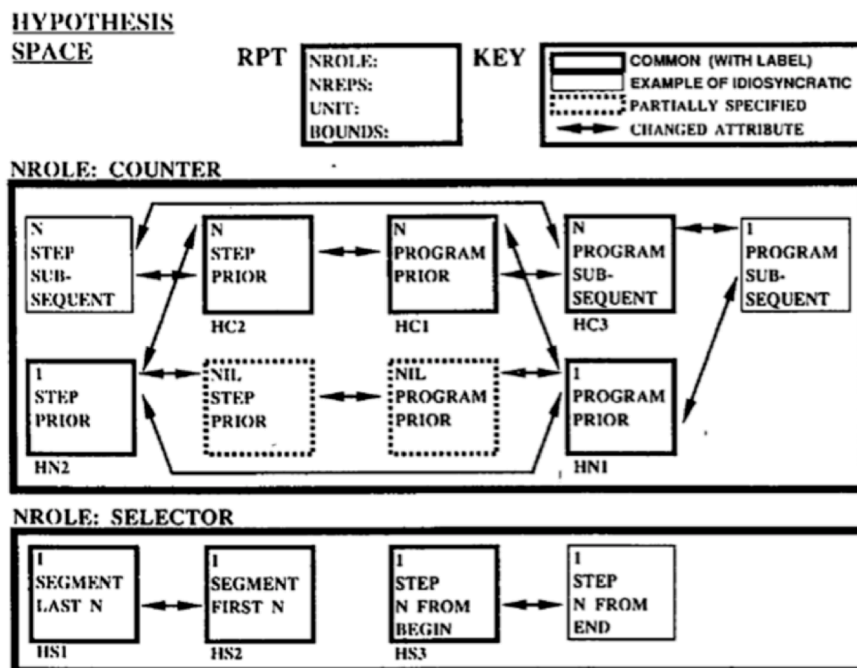


図 A.1 Klahr & Dunbar (1988) による仮説空間の表現.

付録 B

SDDS モデルの要素

図 B.1 に Klahr & Dunbar (1988) より，SDDS モデルにおけるプロセスの階層図を引用する。プロセスは仮説空間の探索，仮説の検証，証拠の評価の3種類の要素とそれぞれの下位要素からなる。本研究においては，仮説空間の探索に注目した。

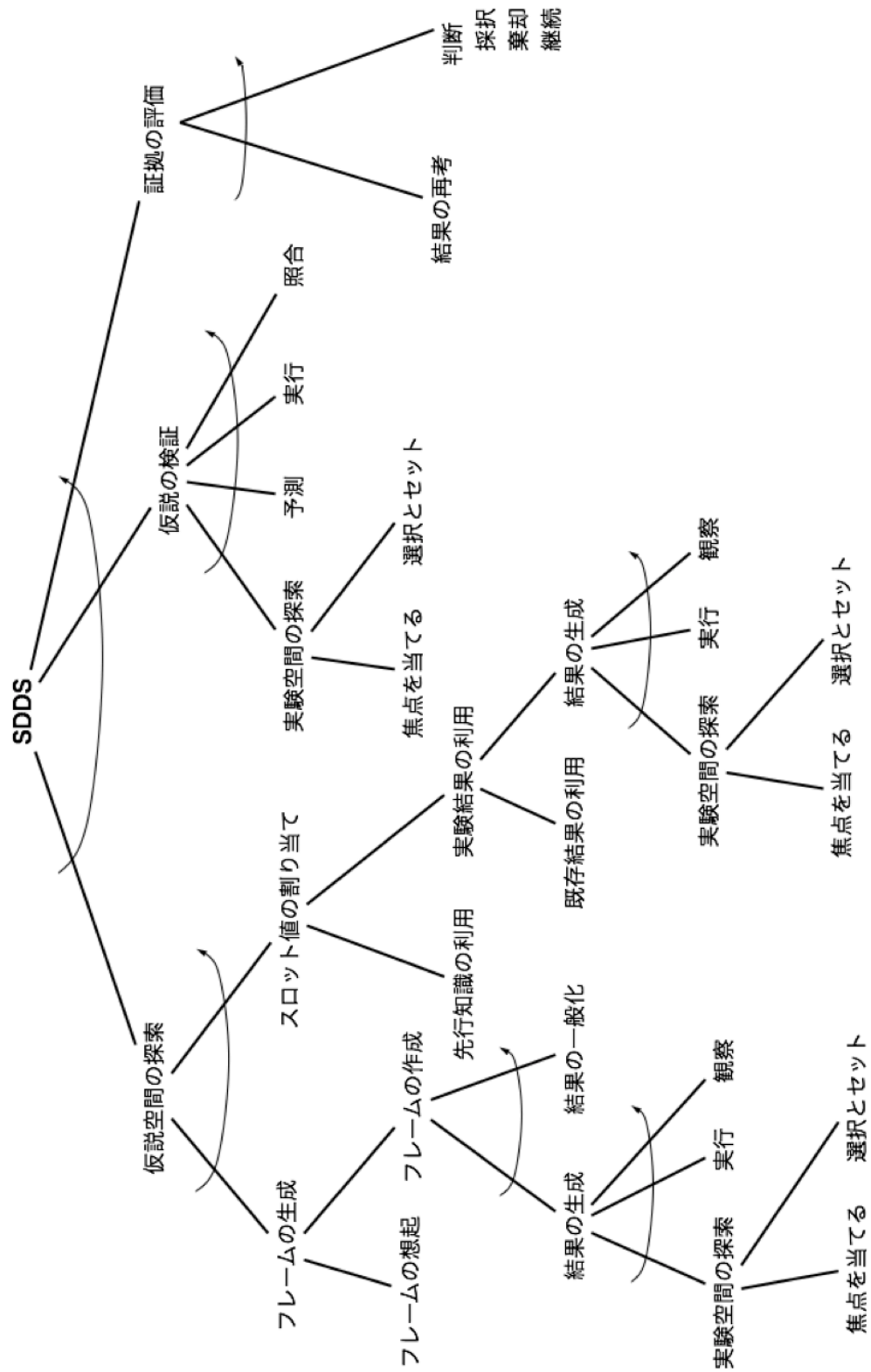


図 B.1 SDDS モデルにおけるプロセスの階層図。日本語訳は筆者による。

付録 C

各パネルの利用法の練習課題

C.1 矢印パネルの練習

上部に表示された矢印の角度と同じ中心角を持つ扇形を選択する。図 C.1 では，135 度の矢印なので，上段の右から 2 番目のボタンを選択する。正しいボタンを選択すると，選択したボタン上に丸が表示される。間違ったボタンを選択すると，選択したボタン上にバツが表示され，同時に正しいボタン上に丸が表示される。

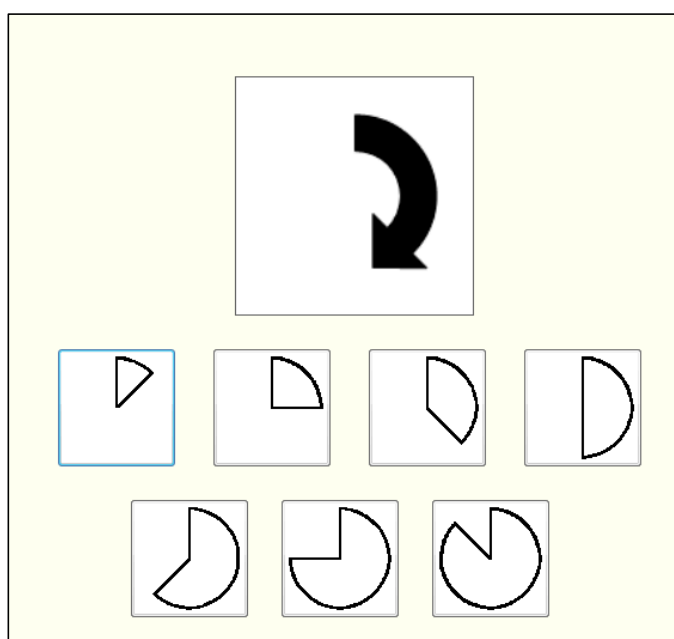


図 C.1 矢印パネルの練習課題の画面.

C.2 方位パネルの練習

上部に表示された方位の位置に対応するボタンを選択する。図 C.2 では，“南”が表示されているので，1 番下のボタンを選択する。正しいボタンを選択すると，選択したボタン上に丸が表示される。間違ったボタンを選択すると，選択したボタン上にバツが表示され，同時に正しいボタン上に丸が表示される。

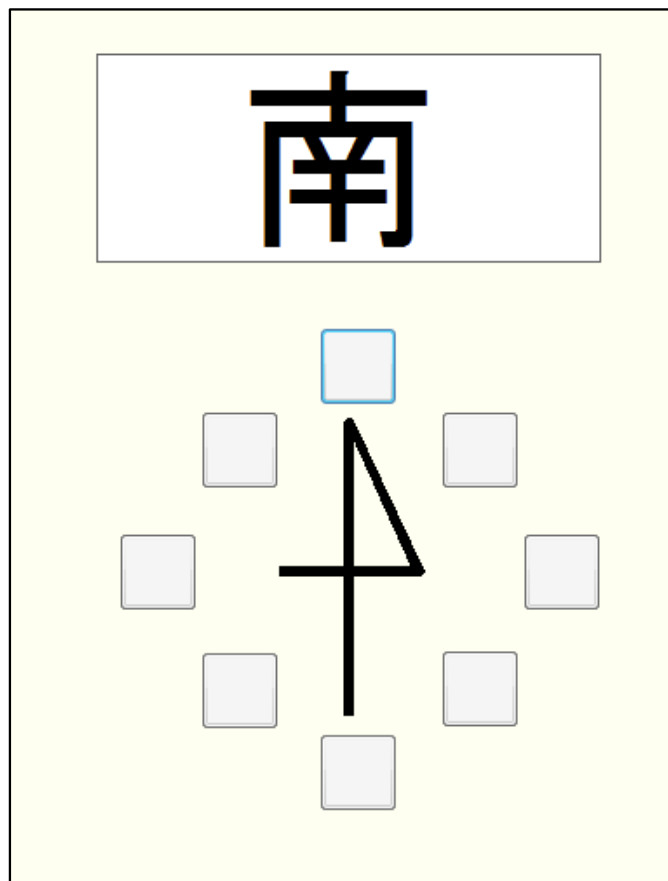


図 C.2 方位パネルの練習課題の画面.

C.3 数字パネルの練習

上部に表示された数字の順番のアルファベットを選択する。図 C.3 では、6 が表示されているので、6 番目のアルファベットである f を選択する。正しいボタンを選択すると、選択したボタン上に丸が表示される。間違ったボタンを選択すると、選択したボタン上にバツが表示され、同時に正しいボタン上に丸が表示される。

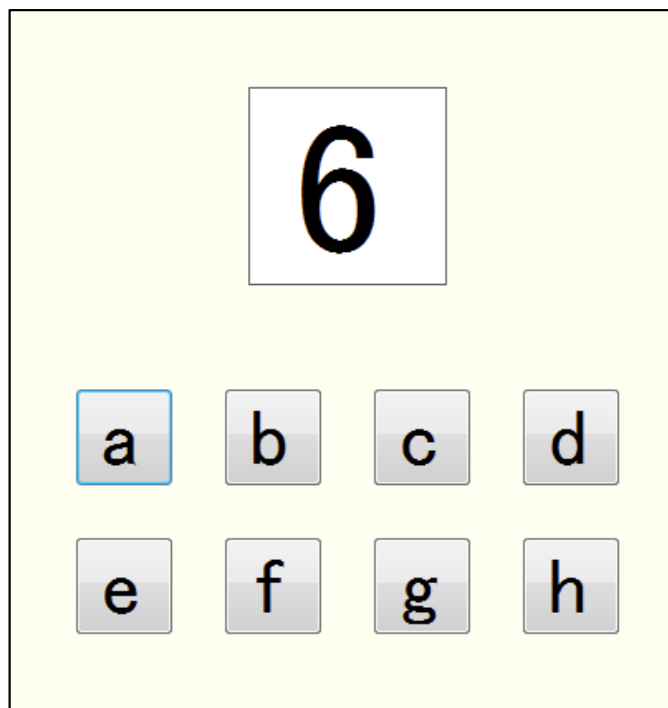


図 C.3 数字パネルの練習課題の画面.

付録 D

空間スパンテスト

Shah & Miyake (1996) の空間スパンテストをコンピュータ上で実施した。図 D.1(a) に示したようなアルファベットが画面中央に表示される。実験参加者は文字の方向を覚えるとともに、裏表の判断を行う。表文字の場合は j キーを、裏文字の場合は f キーを、できるだけ素早く押下することを求められた。図 D.1(a) の場合は表文字なので、参加者は j キーを押下する必要がある。2 秒以内にキーを押さなかった場合、判断を失敗したとされ、自動的に次の文字が表示される。判断課題が終わると、図 D.1(b) の入力画面が表示される。記

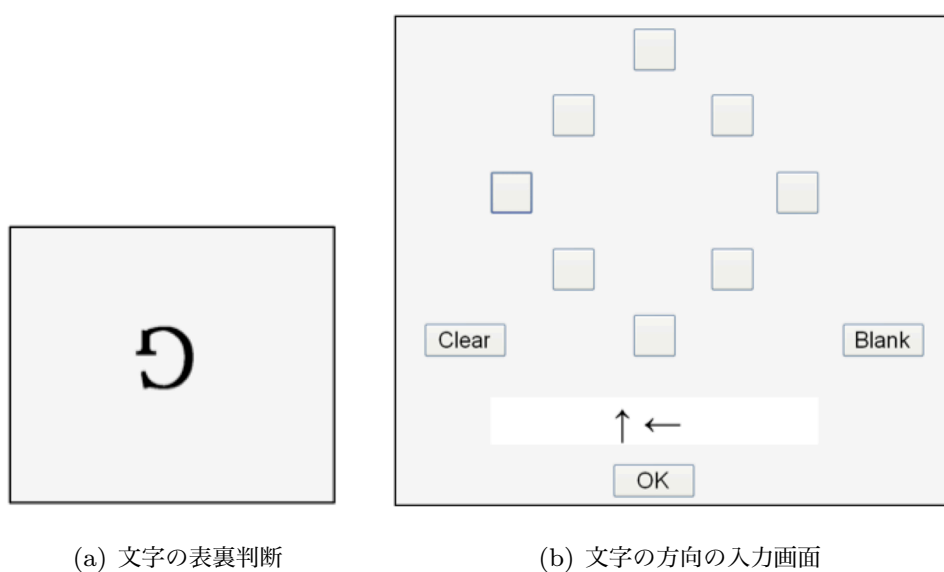


図 D.1 空間スパンテストの課題画面. (a) 文字の表裏の判断課題に表示される文字の例. (b) 文字の方向の入力画面.

憶した文字の方向に対応するボタンを順番に押下する。例えば，図 D.1(a) では，文字は下 (時計盤の 6 時の位置) を向いていたため，図 D.1(b) の 1 番下のボタンがその向きに対応するボタンとなる。